المركز القومى للترجمة

فلاتكو فيدرال

الواقع الذى نحياه .. وكيف نفكّك شفرته

(نظرة للكون كمعلومات كمومية)

ترجمة
عاطف يوسف محمود



2334

"العالَم- بالنسبة إلى عالِم الفزياء- هو المعلومات، والكون وسلوكه، هي موجات مد وجزر للمعلومات. ونحن جميعًا نماذج مرحلية من المعلومات، ننتقل وفقًا لوصفة محددة من صورنا الأساسية إلى أجيال مستقبلية، مستعملين شغرة رقمية من أربعة حروف تُسمى الدنا".

بهذا الوصف الذي يأسر العقل ويحفزه، يتناول مؤلف الكتاب بعضًا من أعمق الأسئلة عن الكون، ويتناول التداعيات التي يتضمنها تأويله في صورة معلومات، فيشرح طبيعة المعلومات، وفكرة الإنتروبيا، وجذور هذه الفكرة في الديناميكا الحرارية. إنه يصف الآثار الشاذة لسلوك الكمون، مثل "التشابكات entanglement"، تلك التي يطلق عليها أينشتين "الفعل الشبحي عن بُعد"، كما يستعرض المؤلف كيفية ترويض التأثيرات الكمونية في الحواسب ذات السرعة الفائقة، وكيف يتطرق برهان حديث إلى تفسير الشذوذ في عالم الكمونيات.

تصميم الغلاف: أحمد بلال

الواقع الذى نحياه .. وكيف نفكك شفرته

(نظرة للكون .. كمعلومات كمومية)

المركز القومى للترجمة

تأسس فى أكتوبر ٢٠٠٦ تحت إشراف: جابر عصفور

مدير المركز: أنور مغيث

- العدد: 2334
- الواقع الذى نحياه.. وكيف نفكك شفرته: نظرة للكون كمعلومات كمومية
- فلاتكو فيدرال
- عاطف يوسف محمود
- اللغة: الإنجليزية
- الطبعة الأولى 2016

هذه ترجمة كتاب:

DECODING REALITY:

The Universe as Quantum Information 1st Edition

Originally published in English in 2010

By: Vlatko Vedral

شارع الجبلاية بالأوبرا- الجزيرة- القاهرة. ت: ٢٧٣٥٤٥٢٤ فاكس: ٢٧٣٥٤٥٥٤

El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo.

E-mail: nctegypt@nctegypt.org Tel: 27354524 Fax: 27354554

الواقع الذى نحياه.. وكيف نفكك شفرته

(نظرة للكون.. كمعلومات كمومية)

تـأليـف : فلاتكو فيدرال

ترجمة : عاطف يوسف محمود



2016

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشئون الفنية

فيدرال ، فلاتكو

الواقع الذى نحياه .. وكيف نفكك شفرته (نظرة للكون .. كمعلومات كمومية)

تأليف: فلاتكو فيدرال ؛ ترجمة: عاطف يوسف محمود

ط١ - القاهرة: المركز القومى للترجمة، ٢٠١٦

٢٧٦ ص؛ ٢٤ سم

١ - الكون

(أ) محمود ، عاطف يوسف (مترجم)

(ب) العنوان ٥٢٣,١

رقم الإيداع/ ٢٠١٢٠ / ٢٠١٤

الترقيم الدولى I.S.B.N. 978 - 977 - 718 - 878 - 4

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

تهدف إصدارات المركز القومى للترجمة إلى تقديم الاتجاهات والمذاهب الفكرية المختلفة للقارئ العربى وتعريفه بها، والأفكار التى تتضمنها هى اجتهادات أصحابها فى ثقافاتهم، ولا تعبر بالضرورة عن رأى المركز.

المحتويات

كلمة المترجم

"العالم، بالنسبة لعالم الفيزياء هو المعلومات، والكون وسلوكه هى موجات مد وجزر للمعلومات . ونحن جميعا نماذج مرحلية من المعلومات، ننتقل وفقا لوصفة محددة من صورنا الأساسية إلى أجيال مستقبلة مستعملين شفرة رقمية من أربعة حروف، تسمى الدنا".

بهذا الوصف الذى يأسر العقل ويحفزه، يتناول "فلاتكو فيدرال" بعضا من أعمق الأسئلة عن الكون، ويتناول التداعيات التى يتضمنها تأويله في صورة معلومات، فيشرح طبيعة المعلومات، وفكرة الإنتروبيا، وجذور هذه الفكرة في الديناميكا الحرارية. إنه يصف الآثار الشاذة لسلوك الكموم، آثار مثل "التشابكات" "entanglement"، تلك التى يطلق عليها أينشتاين " الفعل الشبحى .. عن بعد " ويستعرض في كتابه هذا كيفية ترويض التأثيرات الكمومية في الحواسيب ذات السرعة الفائقة، وكيف يتطرق برهان حديث إلى تفسير الشنوذ في عالم الكموميات ...

وينتهي فيدرال إلى تناول الإجابة عن السؤال الأزلى الأعظم : من أين أتت كل المعلومات بكوننا؟ وهو يعتبر الإجابة تحفيزا لتفكيرنا، ويترسم خطوات جون هويلر الفيزيائى النابه وراء هذه الأفكار التي تتحدى مفاهيمنا عن طبيعة الجسيمات، وعن الزمن، وعن الحتمية بل وعن الواقع ذاته. وربما تبدو لنا كلمة المعلومات كلمة مبتذلة، تستحضر إلى الذهن صفوفا من الأعداد، وقواعد البيانات الضافية، وأكداسا من المواد يرشقنا بها العلم الحديث من كل حدب وصوب. على أن المعلومات هى أبعد مفاهيم العلم الحديث غورا. وإنما يمكننا استيعاب الكون وكل ما فيه بدلالة المعلومات. فالتطور

البيولوجي يروي لنا ميراث المعلومات في التبدلات التدريجية بوحداته وجيناته، وإذا ما قسنا أي جسيم فإنما يتمثل لنا في هيئة طاقم من البيانات . فهل له كينونة ذاتية خارج نطاق قياساتنا ؟ إن نظرية الكم تجيبنا على هذا التساؤل بكلتا الإجابتين نعم ولا. فنحن نخبر الواقع ونخلّق الواقع في ذات الوقت من خلال ذلك التأثير المتبادل.

يأخذنا فلاتكو فيدرال من تعريف " كلودشانون " للمعلومات - والذي صاغه أصلا بهدف تحسين الاتصالات عبر خطوط الهاتف، إلى التعرف المتنامي على أهميتها العظمى وصلاتها العميقة بالإنتروبيا في الديناميكا الحرارية، وإعادة صياغته لعالم الكموم.

وعندما تقترن الكموم والمعلومات، ينبثق من ائتلافهما نطاق عريض من المفاهيم، فنجد أنفسنا نحدق في محتوى المعلومات عن الثقوب السوداء، والقدرات الكامنة لتحقيق نقل الأجسام من على بعد، وكيف يمكن أن ينبع كون حتمى من العشوائية، والتساؤلات الأصيلة عن الواقع. فنحن نرى كيف يشاطر العلم الحديث السعى وراء الحكمة والعجائب الروحانية شرقا وغربا، ويجذبنا صوب تفسير ممكن للكون، تفسير خلاب في بساطته وغرابته وجماله. وفي كتابه "واقعنا الذى نحياه .. كيف نفكك شفرته" يقدم فلاتكو فيدرال نظرة عقلية نافذة إلى أعمق الأسئلة غورا عن الكون، من أين يأتي كل شيء، ولماذا كانت الأشياء على النحو الذى هى عليه ؟ وماهو كل شيء ؟

يقول فيدرال : " إن الأكثر أساسية للواقع ليس المادة أو الطاقة - وإنما المعلومات، ومعالجة البيانات هى التى تضرب بجذورها في كل الظواهر سواء أكانت فيزيائية أم بيولوجية أم اقتصادية أم اجتماعية . وتتيح وجهة النظر هذه لفيدرال أن يطرح مجموعة من الأسئلة التي تبدو وكأن لاصلة بينها : لماذا يتصرف الدنا على ذلك النحو ؟ ما النظام الغذائى الأمثل لإطالة العمر ؟ كيف تجمع مليونك الأول من الدولارات ؟ بوسعنا أن نوحد كل هذا من خلال تفهمنا أن كل شيء يتركب من شذرات من المعلومات - يكتب فيدرال - رغم أن هذا يثير السؤال : ومن أين عساها تأتي هذه الشذرات ؟ للعثور على الإجابة، يأخذنا الكاتب في جولة يقوم فيها بدور المرشد خلال عالم خيالى غريب

الأطوار.. فيزيائيات الكموم .. ففي المستوى تحت تحت تحت الذرى، نجد أمورا غير مألوفة مثل التأثير المتبادل بين الجسيمات الكمومية المنفصلة . وفي الحقيقة يرصد فيدرال برهانا حديثا يتطرق إلى أن الشذوذ في سلوك الكموم، إذا ما تم التفكير فيه على أنه مقصور على أكثر المقاييس ضآلة، قد يمتد في الواقع إلى المقياس العيانى ويجعل من "النقل عن بعد" إمكانية واقعية.

يكتب فيدرال : إنها فيزيائيات الكموم التي من خلالها بمقدورنا حقيقة أن نعثر على الإجابة عن السؤال المتناهى عن الحياة، والكون، وكل شيء.

وفلاتكو فيدرال واحد من الباحثين الرئيسيين في علم الكموم. وفي هذا الكتاب يقدم عرضا يذهل العقل بهذا الميدان.

المترجم

د.م. عاطف يوسف محمود

إهداء

إلى والدتي التي لم يخفف من آلامي لغيابها - نوعا ما - إلا ذكرياتي عنها .. تلك الذكريات التي لم تفكك شفرتها بالكامل

المؤلف

تنويــه

كثيرون هم الأناس الذين أدين لهم بالشكر، هؤلاء الذين لولا جهودهم لما رأى هذا الكتاب النور، فلقد تأثرت أيّما تأثر في خلال آخر خمسة عشر عاما من حياتى المهنية، بالعديد من الباحثين العلميين . وكان أجلهم أثرا (في ترتيب ألفبائى طبقا للإنجليزية)، جانيت أندروز، تشارلز لزبينيت، سوجاتو بوز، شاسلاف بروكنر، كيث بيرنيت، دافيد دويتش، آرثر إكيرت، بيتر نايت، ويليام ووترز وأنتون تسينجلر، وستجدون صدى الكثير من أفكارهم عبر صفحات هذا الكتاب.

ولكم أشعر بالامتنان لأعضاء أقسام الفيزياء في جامعتى أكسفورد وليدز بالمملكة المتحدة، وجامعة سنغافورة الوطنية، الذين زودونى بجو من التشجيع من خلال تلك المناظرات العلمية الثرية ومنحوني أفضل الفرص للتواصل مع قطاع عريض من السادة الحضور .

إن الكتابة مهمة تحتاج للتوحد والاحتشاد، ولقد كان من دواعى اغتباطى أن تسنح لى فرصة الحديث إلى جمهور عريض عن بعض جوانب كتابي هذا . وسيتعرف أولئك الذين حضروا أحاديثى المتنوعة في " المقهى العلمى " والمناسبات المماثلة لها على بعض ما ورد بتلك المقابلات هنا.

وأنا واحد ممن يؤمنون بإخلاص بالخروج بالعلم من أروقة الجامعات المحدودة إلى آفاق الشوارع الرحبة، ففي مثل تلك الأجواء المفتوحة وُلد العلم الحق : في ساحات سقراط ببلاد الإغريق العريقة، حيث ينتمي - في المآل الأخير - هذا العلم . ولكم آمل أن يعكس هذا الكتاب بعضا من أسلوب التوجه إلى الشارع هذا وسيلة للتواصل العلمى.

وأنا مدين بالامتنان لـ " لوك رالان " لمعونته الدائبة، وتشجيعه لى ومطالعته لمخطوطاتي وأفكاري وتعليقاته عليها، وكان خير حافز لى عبر المراحل المختلفة وعاملا أساسيا وراء بلورة هذا الكتاب، كما أدين بالشكر لـ " لاثامينون " بجامعة أكسفورد وكيرى ماكينزى بجامعة ليدز، فقد كان لتعليقاتهما الضافية أفضل الأثر في تنقيح مسودات الكتاب.

كما أنني أزجي شكري لمؤسسات المملكة المتحدة والهيئات الدولية التي موّلت أبحاثي، وأخص بالشكر : الجمعية الملكية وصندوق وولفسون اللذين غمراني بكرمهما ودعمهما .

أما زوجى " إيفونا " وأبنائى " ميكى " " وليو " " وميا " فطالما عانوا عبر العامين الماضيين، وهم - بحق - كل ما لدىّ من الألف إلى الياء، ومن دونهم، ما من واقع يلزم فك شفرته . ولكم آمل أن أعوضهم - عما ضاع من عمرهم، بسبب كتابي هذا.

مقدمة

في خريف عام ١٩٩٤ ، كنت في سنتى الأخيرة من تعليمى الجامعى بلندن، وفيما كنت أقلب في المناهج المقررة استعدادا لامتحانات الفصل الدراسى القادم، وقعت على ثلاث كلمات قُدّر لها أن تحدث أعمق الأثر في مستقبلى. لقد حملتنى هذه الكلمات على إعادة التفكير في قضايا سلف أن صادفتها في حياتى وفي الفيزيائيات على السواء. لم أكن آنذاك جدّ واثق مما تعني، ولكن وبمرور الوقت، بدأت الأمور تصبح ذات مغزى، وتتبلور لتشكل معنى ما.

تعرض لكل منا لدى مرحلة ما من طفولته ، قواعد وقوانين متنوعة ، يبدو أنها تحكم سلوك الكون بكل ما يحتويه . فهناك قوانين نيوتن في الفيزياء ، ودورة التمثيل الضوئى في علم الأحياء ، وقواعد النحو والصرف في اللغة الفرنسية ، وقانون العرض والطلب في علم الاقتصاد ، وتمتد القائمة لتشمل غير ذلك . وإني لأتذكر إحساسى - وأنا طفل - بالضياع والحيرة ، وذهولى إزاء تلك القواعد التي كان علىّ أن أتعلمها وأستخدم كلماتها بحرفيتها ، وأن أردّها إلى أصولها . كنت أنظر إلى معلمي نظرتي إلى ساحر صاحب حيل ، قادر دوما على أن يستخرج من قبعته شيئا ما يبعث على الحيرة .

وإذ ندرج في الحياة ، تتطور مداركنا وفهمنا للعالم فيما حولنا ، ولا تعود تلك الحيل باعثة على الرعب ، إذ تزداد قدرتنا على تفكيكها وإدراكنا كيف أن كثيرا منها ليست - في الختام - جمة الاختلاف . ومن ثمّ ، ولدى نقطة معينة ، وبعد استكشاف عدد كاف من هذه القواعد عبر ضوابط متنوعة ، نغدو في موقف يخولنا أن نشرع في تأمل وتمحيص الصلات فيما بينها ، وما إذا كان ثمة كتاب (سحرى) صغير يلم

شعثها جميعا. إنها نفس الصورة الأكبر التى دائما ماتدفعنى مع الكثيرين غيرى، وأيا كان مسربك في الحياة ، فالسؤال يبقى كما هو دائما : هل الواقع الذى نشاهده حولنا مكوّن فقط ـ كما يتراءى لنا ـ من مجموعة عشوائية من القواعد والأحداث التى لا يضمها رابط ؟ أم أن هناك خيطا شاملا تنبثق منه كل تلكم القواعد والأحداث ؟ منذ فجر الحضارة ، وبعض العقول التى بلغت الأوج من حب الاستطلاع والفضول ، دائبة في تعقب هذا الخيط العمومى . فالربط ما بين حك صخرة بأخرى أو خشبة بأختها جعل بوسعنا أن نولد النيران . وبالربط ما بين سقوط تفاحة ومدارات الكواكب أصبح بمقدورنا أن نطير إلى القمر . وبالربط مابين فهمنا لجزيئات المادة بالعلوم الهندسية، استطعنا أن نطيل أعمار البشر من خلال النجاح في إجراء الإصلاحات الواسعة في جسم الإنسان . وبربط فهمنا للطبيعة البشرية بتقنية الاتصالات ، أصبح لدينا سوق عالمية للمنتجات أو الخدمات بصرف النظر عن اللغة التى نتحدث بها . إن محاولاتنا لتفهم جوانب الواقع المختلفة والربط بينها جلب لنا ـ كما هو واضح ـ المنافع الجمة .

وبمضينا قدما نحو تنمية فهمنا ، نتوقع لهذا التقدم أن يطّرد . وما من شك في أن مثل هذا التقدم في المستقبل سيكون أساسه مدى توفيقنا في ترجمة المعلومات الجديدة وتأويلها وربطها بما سلف لنا أن تعلمناه . ومع استمرارنا في استحداث المزيد من هذه الروابط نستطيع أن نطور من القوانين العامة الشاملة التى نستخدمها بدورنا في فهم أفضل وتأثير أعمق في واقعنا ، وبعبارة أخرى سنبدأ ـ أولا ـ بأن نكسر أو نفكك شفرة ما نراه حولنا ـ فقط ـ كى نستعمل هذه المعلومات كى نبنى أو نشفر صورة أفضل وأكثر إتقانا في توصيلاتها . والمسألة الأعظم بطبيعة الحال هى إلى أى مدى يمكننا عمل الروابط ، هل من الأجدى لنا أن يكون هناك قانون واحد نهائى ، عبر وصفة سحرية مانعة مفردة ، تصف لنا الكون برمته ؟

وفي نطاق هذا الجدال ، ينبغى أن يكون أكثر الأسئلة جوهرية وإثارة هو : لماذا ـ أساسا ـ يوجد واقع ، ومن أين عساه أتى ؟ وبعبارة أخرى ، قبل أن نشرع في الكلام

عن كيفية ارتباط الأشياء ببعضها ، يلزمنا أن نسأل أنفسنا - في المحل الأول - لماذا توجد الأشياء؟

وسأناقش في هذا الكتاب كيف أن مفهوم أو مصطلح المعلومات يمدنا بالإجابة عن السؤالين كليهما . ومما يثير الفضول أن ذلك يجعل للمعلومات شأنا أكثر جوهرية يرجح بمراحل تعريفنا المادة أو الطاقة الذى هو بدون شك إنجاز بطولى في حد ذاته . فإذا ما نظرنا إلى الواقع باعتباره شذرات من المعلومات ، فمن الطريف أن كلا من وجود الواقع ، وروابطه الضمنية بطبيعتهما يصبحان شفافين بالكلية . وبصرف النظر عما إذا كنت قارئا مقلاً غير مستديم أو باحثا علميا محنكا فإن لذلك تضمينات غير عادية لكل منا ولأى منا .

إن تلكم الكلمات الثلاث التى طالعتها في خريف عام ١٩٩٤ وقلبت نظرتى بعنف هى : " للمعلومات طبيعة فيزيائية " . إن هذه الكلمات الثلاث وبذات الترتيب تبرز وتقف كعنوان لفصل مشوق في كتاب آخر بالغ الغرابة ، وبمرور الوقت جعلتنى هذه الكلمات أتحقق من أن المعلومات قد تكون - حقا - هى مفتاح الإجابة . وبعد أن أمضيت آخر ١٥ سنة في إقناع نفسى بذلك ، فإننى أسعى عبر الاثنى عشر فصلا التالية ، كى أقنعك أنت الآخر بالمثل .

فلاتكو فيدرال

(١)

خلق من العدم .. شىء ما من لا شىء

لكل حضارة فى تاريخ البشرية، أسطورتها عن بدء الخليقة، فلدى بنى الإنسان رغبة متأصلة ضارية بجذورها - بل ويبدو أنها غير قابلة للإشباع - كى يتفهم ليس أصله فحسب، بل وكذلك أصول الأشياء الأخرى فيما حوله . ومنذ فجر الخليقة، ومعظم الأساطير - إن لم تكن كلها - تتضمن ضربا من كائنات عليا خارقة ذات قوى فوق الطبيعية، وترتبط ارتباطا وثيقا بوجود كل الأشياء وكيفية سلوكها فى الكون . ومازال لدى الإنسان الحديث العديد من وجهات النظر المختلفة عن الأصل الأولى للكون، رغم أن اثنتين من أكثر الديانات انتشارا - هما المسيحية والإسلام - تحتفظان بالرأى القائل بأن خالقا مفردا هو المسئول عن كل ما نراه حولنا .

وإنه لاعتقاد سائد وغالب فى العقيدة الكاثوليكية، التى يتبعها حوالى سدس الجنس البشرى، أن الرب الإله قد أنجز عملية خلق الكون برمته من لا شىء، وهو الاعتقاد الذى يقع تحت مسمى " الخلق من العدم "ex nihilo" وإحقاقا للحق لا يعتنق كل الكاثوليك ذلك المعتقد، إلا أن عليهم هذا ماداموا اتبعوا البابا . ولا يساعد وجود كائن خارق أعلى من الطبيعة، على تفسير الواقع، حيث إنه فقط يجعلنا نحيل السؤال عن الأصل فى وجود الواقع، إلى السؤال عن تفسير وجود كائن أعلى من الطبيعة، وما من دين يزودنا بإجابة شافية عن هذا التساؤل[١] .

---

(١) نثبت هنا وفيما بعد نص الكتاب الأصلى على علاته دون التطرق إلى مناقشة ما يحتويه من آراء وأفكار إعمالاً لمبدأ أمانة الترجمة . (المترجم)

ولعلك تظن أن لدى العلماء - ربما - فهما أكثر تبصرا عن أصل الكون، مقارنة بمعتقدات الأديان الرئيسية، فربما كان من الأفضل لك أن تعيد النظر فى تفكيرك هذا، فلعل من المسلم به أن غالبية العلماء لادينيون (من الطريف أن هذه النسبة فى المملكة المتحدة تربو على ٩٥ ٪) . ولكن ذلك لا يعنى بالضرورة أنهم لا يعتنقون نوعا من العقيدة عن كيفية بدء الخلق ومن أين عساها تأتى كل هذه التنويعات من الموجودات حولنا . وحجر الزاوية هو أنه، تحت كل الفرضيات والبديهيات، إذا ما ذهبت فى تنقيبك بعيداً إلى عمق كاف، فستجد أنهم جميعا تنتابهم الحيرة كأى شخص آخر .

وعلى ذلك، ومن منطلق تفسير لماذا كان هناك واقع، ومن أين - فى نهاية الأمر - يأتى، فإن كونك مؤمنا أو غير مؤمن لايمثل أى فرق البتة، فجميعنا سننتهي إلى ذات التساؤل الماكر المراوغ .

كلما طالعت كتابا عن الوجه الدينى أو الفلسفى للعالم، لا يسعنى إلا أن أتعرف فيه على العديد من الأفكار التى تماشي فكرة علمية مما لدينا . فمذهب الاختزالية على سبيل المثال - وهو حقيقة أننا نحاول اختزال كل شىء إلى علة مفردة بسيطة - يشترك مع الدين والعلم فى أسلوب تفكيرنا فيهما . وفيما يمكن أن تتنوع طرق البحث والتحرى، فإنها بنفس الطريقة التى هى فى الدين . فنحن نختصر كل شىء إلى (معبود - مقدس) واحد مفرد فنسعى فى العلم صوب توحيد النظريات لنصل لنظرية تشمل كل شىء . وفى الواقع فإن هذه الرغبة المتأصلة فى اختزال عدد المقادير المجهولة، تسود تقريبا - كل أمر نأتيه . فلماذا تتلبّسنا - دوما - هذه الحالة ؟

غالبا مايكون هناك علتان مختلفتان وراء تلك الرغبة الطبيعية نحو التبسيط، أولهما أن لدينا - كبشر - خيالا محدودا للغاية، وأيا كان الوسط الذى نتوسل به كى نتفهم العالم من خلاله - سواء كان هو العلم أو الدين أو الفلسفة أو الفن - فسننتهي إلى الركون إلى ذات الحزمة المحدودة المقصورة من الأفكار المتاحة لدينا . وبعبارة أخرى، حتى ونحن نشرع فى وصف الواقع، لا تختلف الأفكار التى نستخدمها عن بعضها البعض كثيرا .

ويشير " أبراهام ماسلو " العالم النفسانى الأمريكى المرموق[1] ، إلى أنه " حينما تكون المطرقة هى أداتك الوحيدة، فإن كل مشكلة تلوح لك كما المسمار " . ولعل المطرقة فى حالتنا هى توقنا الطبيعى للعثور على علاقات بسيطة بين العلة والمعلول . ونحن البشر نسرف عند اختزال التراكيب والتعقيد، ونجد أنه من الأبهى والأكثر صلاحية للاعتقاد أن نلخص ونوجز كل فهمنا - فى الحساب الختامى - فى مبدأ أساسى واحد (سواء كان معبوداً واحداً أو نظرية مفردة تشمل كل شىء) .

ومن الأهمية بالمثل أن نستوعب أن واقعنا - أى وجهة نظرنا نحن إلى الكون . قد تختلف عن الكون الحقيقى ذاته، فنحن إنما نخلق واقعنا من خلال فهمنا نحن للكون، وواقعنا هو الممكن بناءً على كل شىء نعرفه . وإذا ما تدبرنا كلمات " ماسلو " فإننا فعلا سنتفهم أننا دومًا محدودو القدرات، ونتقبل أنه أيا كان الواقع الذى نخلقه، فقد يكون محض تقريب لما يلوح عليه الكون حقيقة .

وبهذا المعنى فمن المحتم - على نحو ما - أنه فيما نحن نجتهد ونكدح كى نفسّر واقعنا، فالقضية الوحيدة مضمرة على نحو ما داخل ذلك . إنه مجرد معتقد نحسّ بالراحة إذ نركن إليه .

وتقترن بهذا، العلة الثانية، وهى أن البشر كائنات اجتماعية أيضا. فالفنانون والعلماء والكهنة وعامة الناس، جميعهم يتبادلون الأفكار مع بعضهم البعض - تلك الأفكار التى تتجلى بعدئذ فى أعمال الآخرين، إذ نحاول أن نفهم - بصورة أفضل - كوننا، ونرسم تصورنا نحن عن الواقع . فمعتقداتنا عن الجمال والحق - فى مجال ما - تؤثر حتما فى أفكارنا فى مجال آخر . وفى وجود تلك المناقشات المتعددة والدامغة - فإننا جميعا نتبع - بدرجة أو بأخرى - طريقا مماثلة .

---

(١) أبراهام ماسلو (١٩٠٨ - ١٩٧٠) عالم نفس أمريكى من أصل روسى - اشتهر بنظريته المتميزة فى علم النفس التى تركز على الدوافع الشخصية للإنسان. (المترجم)

ووفقا لما يقوله الفيلسوف الألماني " لودفيج فويرباخ Ludwig feurbach" فإن الإنسان في البداية مُكره - وعلى غير وعي منه - على خلق الإله على صورته هو، وبعد ذلك فإن الرب - طواعية وعن وعي - يخلق الإنسان على صورته هو "فإذا ما اتخذنا لفظ" الرب "مرادف لمفهوم الواقع، فإن الواقع وإدراك الإنسان له هما في الحقيقة أمران لايمكن الفصل بينهما.

فالإنسان يخلق الواقع، ومن ثم يستعمل ذلك الواقع في وصف نفسه. ونحن إذ نكدح لاختزال الأمور المعقدة، ليس من المستغرب أن نحاول بناء واقعنا على أبسط العلل الممكنة.

وهناك نظرة أكثر تفاؤلا لتفسير العلة وراء تفرع أفكارنا وتشتتها إلى حد ما، وهي أن الحياة قد تطورت قياسا إلى بقية الكون، فنحن تجسيد لذات القوانين التي شكلت الكون، وتخيلنا وثيق الصلة به، فنحن سواء عن وعي أو عن غير وعي نختلف إزاء هذه القوانين . ومن هذا المنظور، فليس الباعث على هذا الاختلاف - محدودية قدرتنا على وصف الكون كما تطرحه النقطة السابقة، ولكنه انجذابنا الطبيعي نحو القوانين التي تحكمه . قد تبدو وجهتا النظر هاتان جدّ متشابهتين، إلا أن الفرق الرئيسي هو أن الأخيرة منهما أكثر تفاؤلا . وأكثر من كونها ميلاً منا إلى خلق الواقع، ثم نزوعنا إلى أن نصف الكون من خلال ذلك الواقع، فإنها تعطينا - بصورة جوهرية - أملا في أننا نمضي في السبيل القويم بتجسيدنا القوانين التي تصف الكون . ولكن .. هل سنعثر على البساطة المأمولة في نهاية رحلتنا هذه ؟

إن حد شفرة أوكام "occam raeor"، هو أحد المعتقدات التي يكنّ لها العلماء أجلّ تقدير . ووليام الأوكامي - وهو عالم منطق إنجليزي، من الإخوة الفرنسسكان في القرن الرابع عشر ينصحنا بألا نسرف في الافتراضات من غير ضرورة، وبعبارة أخرى إن أفضل التفسيرات هو أبسطها . وإذا أمكنك أن تجادل في أن التبسيط برمته أمر ذاتي، فسأبين لك في الباب العاشر أن هناك نظرة موضوعية جدّ شاملة ..

عن التبسيط. إن الوصول بمنطق " أوكام " إلى أقصى حدوده من شأنه أن يعنى أيضا اختزال كل شيء فى الكون إلى قاعدة مفردة شاملة تضمّه كله . فلنتصور إلى أى مدى سييسّر ذلك حيواتنا .. قاعدة شاملة تفسر لنا كل شيء من الوقوع فى الحب وحركة الكواكب، إلى تقلبات أسعار الأوراق المالية .

ولكن .. هل هذا هو الوصول بمعتقد أوكام إلى حده الأقصى ؟ لماذا لانجرب حتى التخلص من هذه القاعدة المفردة واستخلاص كل شيء بدون أية قواعد على الإطلاق ؟ إن هذا بكل تأكيد أكثر بساطة وأكثر تمشيا مع منطق " أوكام "، فهو انعكاس أكثر صدقا للواقع ؟ إن الاستقراء دونما قواعد على الإطلاق هو ما أطلق عليه جون هويلر الفيزيائى الأمريكى ذائع الصيت[1] " قانونا بلا قانون " . ولقد علل ذلك بأنه إذا ما أمكننا تفسير القوانين الفيزيائية بدون استلهام أية قوانين فيزياء سابقة لها، فمن شأن ذلك أن يضعنا فى موقف يتيح لنا تفسير كل شيء . وهذه هى وجهة النظر العلمية الشائعة نحو " الخلق من العدم ".

ولقد استعمل جوتفريد فيلهلم ليبتز Gottfried Wilhelm leibniz الرياضى والفيلسوف الألمانى الشهير، وأحد مبتكري تقنية حساب التفاضل والتكامل فى الرياضيات، استعمل هذا المنطوق فى برهنته على وجود الذات الإلهية، فقد وجد من دواعي الدهشة أن يوجد شيء ما - وليس العدم - فى الكون، مع أن العدم هو الحالة الأبسط بكثير، ورأى أن السبب الوحيد كى نجد شيئا ما على الإطلاق، هو وجود كائن مستقل خلق ذلك الشيء . كان ذلك - بالنسبة له برهانا كافيا على اقتراح وجود مؤثر خارجي، وهذا المؤثر هو الإله، ومن ثم فإنه - شأنه شأن كثيرين غيره - لم يجد إجابة على قضية " الخلق من العدم "، أفضل من أن يسلم بوجود كائن خارق فوق الطبيعة .

(١) جون أرشيبالد هويلر (١٩١١ - ٢٠٠٨) عالم فيزيائى أمريكى - شارك أينشتاين فى أعماله وهو من سكّ مصطلح الثقب الأسود - شارك فى مشروع مانهاتن لإنتاج القنبلة الذرية - نال درجة الدكتوراه وعمره ٢١ عامًا . (المترجم)

هذا التحايل بافتراض قانون يفسر كل شيء دون افتراض قانون (أو نوع من القاعدة العامة) فى المقام الأول، قد طرحه بأسلوب طريف، واحد من تلامذة هويلر، هو فيزيائى أكسفورد دافيد دويتش "David Deutch"، ويبسط دويتش منطقه بالعبارة التالية : " إذا لم تكن هناك قاعدة فيزيائية p تفسر كل شيء، ولايمكننا التوصل لها عن طريق العلم، فمن شأن هذا - جدلا- أن يعنى وجود جوانب فى عالم الطبيعة - لايمكن أساسا الوصول لها بالعلم " . وبعبارة أخرى، إذا كنا عاجزين عن العثور على قاعدة شاملة، فليس بمقدور العلم تفسير الكون، وسيفشل فى الوصول إلى هدفه النهائى . ويبرر دويتش قائلا إن أى عجز عن تفسير الكون من خلال قاعدة مفردة p سيجري رأسا فى عكس اتجاه العقلانية rationalism أى عكس اتجاه نظرتنا للفيزياء بوصفها علما شاملا، هو - حتى الآن - القوة المحفزة للتقدم فى هذا الموضوع، تلك القوة التى علينا أن نرفض - إلى أقصى حد - التخلى عنها أو نبذها.

على أية حال - وكما يشير دويتش - فالجانب المعاكس لذلك لايخلو هو الآخر من المشاكل . فلو أن هناك مثل هذه القاعدة التى تفسر كل شيء p فى الفيزيائيات، فإن أصلها سيظل للأبد مستعصيا على الحل، حيث إنه مامن قاعدة (أو قانون) يمكنها أن تشرح أصلها أو شكلها هى نفسها . ويشبه ذلك سؤالك لمكيف هواء : " لماذا أنت مكيف هواء ولست مقعدا ؟ " من الجلى أن الإجابة لاتوجد لدى مكيف الهواء، فمكيف الهواء مجرد شيء صنع على هذه الشاكلة . ومن ثمّ، فإن قاعدة الفيزيائيات الشاملة p، أو القانون الذى يفسر كل شيء لايمكن أن توجد، لأنها تناقض نفسها . ومرة أخرى فلابد وأن أصلها يكمن خارج الفيزيائيات، ومن ثمّ جاء تعبير هويلر الذى يبدو مناقضا لنفسه " قانون دونما قانون " .

إن منطق دويتش يوضح الخيط الرفيع الذى يتعين علينا أن نسير فوقه إذا ماحاولنا أن نفسر الكون بمجمله عن طريق قاعدة مفردة . ولكن ما بالضبط الشيء الذى تحاول هذه القاعدة تفسيره ؟ تُرى .. هل نتحدث عن تفسير كل الموجودات فى الكون،

كالمقاعد ومكيفات الهواء ؟ هل نحاول تفسير السلوكيات الاجتماعية كالوقوع فى الحب، أم نحن نتكلم عن شىء أكثر جوهرية، مثل اللبنات الأساسية للمادة والتأثيرات المتبادلة فيما بينها؟

سيطرح كتابنا هذا أن المعلومات (وليست المادة أو الطاقة أو الحب) هى اللبنات التى يقوم عليها بناء كل شىء . فالمعلومات أساسية بأكثر بكثير من المادة والطاقة، إذ يمكن تطبيقها بنجاح على رصد التأثيرات المتبادلة على المستوى العيانى (أى ما يمكن رؤيته بالعين المجردة) مثل الظواهر الاقتصادية والاجتماعية، وبالمثل - وكما سأناقش - يمكن استعمال المعلومات لتفسير أصل التأثيرات البينية وسلوكها على المستوى المجهرى (الميكروسكوبى)(١) كما فى حالة المادة أو الطاقة.

وعلى كل حال ومثلما بيّن دويتش وهويلر، أيا كان الشىء الذى نرشحه ليكون بمثابة لبنات بناء الكون، فمازالت هناك بالمثل حاجة إلى تفسير أصله الابتدائى هو نفسه . وبعبارة أخرى فإن قضية " كل شىء من لا شىء " تعد هى المفتاح . فإذا كانت المعلومات - وكما أزعم أنا - هى ذلك الخيط الجامع، فإن سؤال " الخلق من العدم يختزل إلى تفسير كيفية انبثاق " المعلومات من لامعلومات " ولن أكتفى ببيان إمكانية ذلك، ولكننى سأناقش أيضا كيف أن المعلومات - على نقيض المادة والطاقة - هى المفهوم الوحيد الذى لدينا حاليا والذى يمكنه أن يفسر أصله هو نفسه.

إذن .. هل تعيننا المعلومات فى العثور على القاعدة المفسرة لكل شىء التى ناقشها دويتش ؟

سأناقش فى الجزء الثالث من الكتاب أن هذا السؤال - عندما ننظر إلى الواقع من منظور المعلومات - لايعود له أى معنى، وسنجد أن رحلتنا ذاتها - فى حالة انبثاق المعلومات المجدية - تصبح أعظم أهمية من الهدف النهائى (وهو القانون الفيزيائى

---

(١) اصطلح العلماء على اتخاذ مقياس (أوجام) كحد فاصل بين الأبعاد الماكروسكوبية (العيانية) والأبعاد الميكروسكوبية (المجهرية). (المترجم)

المفسر الشامل) . إننا حقا نتساءل عما إذا كان هناك ـ من الأساس ـ هدف نهائى، أو ما إذا كان غرضنا ـ مع تطور الكون ـ أن نضع مفهوم القاعدة الفيزيائية النهائية فقط فى واقعنا الذى نخلقه، أكثر من كونه بناءً ضروريًا للكون نفسه .

حسنا، ما إذن السؤال المهم الذى علينا مجابهته ؟ إذا ما اتفقنا على المعلومات كإطار طبيعى نتفهم من خلاله واقعنا، فمن شأن ذلك أن يمكننا من تفسير كل الظواهر الطبيعية بمقتضاها. وذلك هو لب موضوعات هذا الكتاب التى أبسطها فى الأبواب من الثالث للعاشر، فإذ نمضى فى مطالعة تلك الأبواب سنرى كيف أن محدودية المعلومات هى التى تفضي إلى فهم أفضل لها .

ورغم أن ذلك يبدو ـ للوهلة الأولى ـ أمرا غريبا، فإننا نعلم بالبديهة أنه حقيقى، فعندما نتفهم أمرًا بصورة أفضل نجد أن بوسعنا أن نلخصه فى قواعد أساسية قليلة العدد . فعلى سبيل المثال بدلا من صياغة مائة قانون مختلف لوصف ديناميكيات كرة مضرب ألقيت فى الهواء بحيث يصلح كل قانون منها لتطبيقه فى ظل مجموعة من الظروف المختلفة، فإن وجود قانون واحد يضم أى ظروف هو شىء نشعر معه أننا ظفرنا بتفهم أفضل، ومن ثمّ فإننا نعادل فهمنا الأفضل لواقعنا بمقدار ضغطنا للمعلومات التى يحتوى عليها. وعلى النقيض من ذلك، بينما نكدح دون كلل كى نختصر من مقدار المعلومات فى واقعنا، هناك وجهة نظر أساسية تقول بأن مقدار المعلومات فى كوننا ككل، إذا ما استوعبت بطريقة صحيحة، ليس لها إلا أن تزيد . وهذا هو محل بحث الباب الخامس . ويقتضي هذا أن تتزايد بالتبعية معرفتنا ما هو ممكن وما هو غير ممكن، كلما تكشف لنا الكون أكثر فأكثر، مما يفضى إلى مزيد من المعلومات التى تحتاج آنذاك لدمجها . والتشبيه الذى غالبا ما أحب أن أسوقه لذلك هو الحمار الذى تتدلى أمامه وعلى مبعدة ثابتة منه جزرة، فكلما تحرك الحمار ليقترب من الجزرة، ظنا منه أنه بالغها، تحركت الجزرة هى الأخرى معه. إن الحمار وهو غير متحقق من أن حركة الجزرة منوطة بحركته، يدأب على المحاولة غير دار أنه محكوم عليه فى خاتمة

المطاف بالفشل (أليس حمارا فى نهايه الأمر؟) . إن الحمار كلما قطع مسافة (واقترب من التعرف على الجزرة عن كثب) يخفق فى النهاية فى الوصول إلى هدفه الأصلى.

وبهذا المعنى، فإن هناك تناقضا ثنائيا مابين رغبتنا فى دمج المعلومات (أى فى أن نصفّى مجمل تفهمنا للواقع ونحيله إلى بضع قواعد تضم كل شىء)، وبين الزيادة الطبيعية فى المعلومات بالكون (مجمل المقدار الذى نحتاجه كى نفهم) . وقد تبدو هاتان العمليتان (الرغبة فى دمج المعلومات والزيادة الطبيعية فى المعلومات بالكون) فى بداية الأمر منفصلتين أو مستقلتين، ولكن بمضيّنا فى الاستكشاف بشكل أكثر تفصيلا، ربما عثرنا على صلة ما بينهما، فبينما نحن ندمج المعلومات، وننسّق القواعد الشاملة التى تصف لنا واقعنا، فإن تلكم القواعد نفسها هى التى تدلنا كم هناك من المعلومات بالكون كى نكتشفها. وبنفس الأسلوب الذى يقرر به فويرباخ أن " الإنسان يخلق الإله أولا، ومن ثمّ يخلق الرب الإنسان "، يمكننا القول بأننا ندمج المعلومات فى قوانين نبني نحن منها واقعنا، ومن ثم يخبرنا ذلك الواقع كيف ندمج المعلومات مستقبلا .

وإذا ما اختلف معي البعض، فإنني أؤمن بأن وجهة النظر هذه إلى الواقع - بتعريفه من خلال عملية دمج المعلومات - هى الأدنى إلى روح العلم وبالمثل إلى ممارسته (سيناقش مايسمى بالأسلوب العلمى بتفصيل أوفى فى الفصلين العاشر والثاني عشر)، وهى أيضا أقرب إلى المعنى العلمى للمعلومات، من حيث إن المعلومات تعكس درجة عدم التأكد أو التيقن من معرفتنا لمنظومة ما، وكما سنبين بالفصل الثالث.

ولعل من الأدق أن نسمى رؤيتنا للكون التى سوف نطورها هنا " إبادة كل شىء " وذلك مقابلا لـ " الخلق من العدم "، حيث إن عملية الدمج فى المآل الأخير هى ما نعتبره تعريفا للواقع . وسيجري تفسير ذلك بصورة أوفى فى الجزء الثالث من الكتاب .

النقاط المحورية فى الفصل الأول :

- إن ما نعتقده في واقعنا ، هو فهمنا للكون، ولما هو ممكن وماهو غير ممكن فيه. ومعتقدنا عن الواقع يتطور - مع تقدمنا - على نحو مستمر.

- نحن نصارع ذلك التحدى: هل يمكن أن يكون هناك قانون نهائى يصف الكون، وقضية ما إذا كان ممكنا أن ينبع هذا من اللاشىء ، من العدم creation ex nihilo .

- سيناقش هذا الكتاب أن المعلومات هى الخيط العمومى الشامل الذى يربط ما بين كل الظواهر التى نشاهدها فيما حولنا ، كما أنها تفسر بالمثل الأصل الذى ترجع إليه .

إن واقعنا - فى المآل الأخير - مكون من معلومات.

(٢)

معلومات .. لكل العصور

هب أنك وصلت إلى حفل ما متأخرا، بعد أن وصل الكل قبلك واصطفوا حول مائدة كبيرة مستديرة . إن المضيف يدعوك إلى الجلوس مع الآخرين، بينما تتحقق أنت من أنهم منخرطون فيما يبدو أنه نوع من لعبة ما، ولايخبرك المضيف بأى شيء عدا أن يطلب منك الجلوس ومشاركتهم . ولنقل إنك تهوى لعبة البوكر فطابت لك فكرة المشاركة، إلا أنك سرعان ماتتحقق من أنهم لايلعبون البوكر، ويتكشف لك أن ليس لديك بالفعل أدنى فكرة عما يجري . إنك تستدير كى تتشاور مع المضيف، فيبدو لك أنه قد اختفى، فتأخذ نفسا عميقا وتحتفظ برباطة جأشك، كى لاتفصح عن جهلك مبكرا فى ذلك المساء، وتمضي فى مراقبة الموقف بهدوء .

إن أول ماتلاحظ، أنه من غير المسموح لأحد بأن ينطق بكلمة، ومن ثم فليس من الواضح ما إذا كانت هذه حقا لعبة . يبدو هذا بالأمر الشاذ قليلا، ولكنك تعتقد أن ذلك أحدى قواعد اللعبة، ومن ثمّ تستمر فى اللعب . إنك تلاحظ أن اللاعبين يستعملون مجموعة مألوفة من أوراق اللعب تشبه أوراق التاروت[١] Tarot، على كل ورقة منظر مصور، كمحارب يصرع أسدا أو سيدة تمسك بسيفين متصالبين . وبعد برهة، يبدو واضحا أن اللاعبين يكشفون - كل فى دوره - مجموعة من الأوراق، ورقة واحدة فى كل

(١) أوراق التاروت هى أوراق لعب تتألف من ٢١ ورقة، تصور الفضائل والعيوب وقوى الطبيعة المختلفة وتستخدم فى قراءة الطالع . (المترجم)

دور . وإذ توضع الورقة المكشوفة إلى جوار سابقتها، يرصد بقية اللاعبين عن قرب الورقة التى تنكشف، وكذلك يرصدون أية إيماءة بدنية من اللاعب يجسد بها أكثر، معنى الورقة . وفى النهاية يحل الدور على اللاعب الجالس إلى جوارك . إنه يلقي بورقة عليها صورة ملك يقف فوق أسد ميت وسيفه مرفوع فوق رأسه، فتقول لنفسك : "تُرى هل يقصد هذا الرجل ملكا معينا قتل أسدا ؟" هل هو يعني الملكية بمعناها العام؟ "أو" هل هذه الورقة بمثابة استعارة مجازية تعبر عن انتصار شخصى ؟ " وفيما أنت تقلب أفكارك على هذا النحو، توضع الورقة التالية وعليها تنين أحمر، فتظن فى البداية أنها مجازًا تعنى الخطر، ولكن حين تمعن النظر فى الورقتين معا، يهديك المنطق إلى أنهما قد تعنيان ملك ويلز (فالتنين الأحمر هو الرمز الوطنى لويلز)، أو ربما تعبران عن شخص قوى يجابه خطرا . أما الورقات الثلاث التالية فهى : نصلان متقاطعان، ونهر، وفى النهاية شحاذ متسول .

يتضح الآن أن الجميع يحاولون توصيل نوع من الرسالة إلى بعضهم البعض عن طريق أوراق اللعب تلك وبإيماءات أبدانهم، ومن الجلى أيضا أنك قد لاتستطيع استخلاص معنى هذه اللعبة حتى ترى عددا كافيا من الأوراق . ولكنك تبدأ فى سؤال نفسك : ما المغزى الذى يرمون إلى توصيله بالضبط - ما الغرض الرئيسى من هذه اللعبة ؟ هل هم يروون قصص حيواتهم، هل يصيغون قصة من أجل تسلية بعضهم البعض، أم لعل كل اقتران بين الأوراق يعني رصيدا من النقاط ؟ وإذا كانت لعبة، فكيف عساك تربحها ؟ وإذا لم تكن كذلك ؟ فما السر وراءها ؟

لقد تخيل إيتالو كالفينو[1] italo calvino كاتب القصص الخيالية الإيطالى ذائع الصيت، قصة من هذا النوع . وكان المغزى وراء قصته هو أن كل لاعب يحاول أن يخبر الآخرين عن حيواتهم هم ولكن فقط باستعمال صور الأوراق، مع القليل من الإيماءات أو التقطيبات الموحية .

---

(١) إيتالو كالفينو (١٩٢٣-١٩٨٥) : صحفى وكاتب قصص قصيرة إيطالى - من رواد الواقعية الجديدة ومذهب ما بعد الحداثة . (المترجم)

لقد استعمل كالفينو فى كتابه أوراق اللعب كاستعارة مجازية للحياة . والسؤال هو .. لماذا ؟ حسنا .. يصعب علىّ أن أحدس ماذا أراد الكاتب حقا أن يقول، فالكتاب فنانون، وكثيرا ما يقع مغزى أعمالهم بدقة فى حقيقة أنهم غامضون وأن الأناس المختلفين سيؤولون نفس العمل الفنى تأويلات شتى . أما أنا، فعالم (وبالمصادفة كان والدا كالفينو عالمين كذلك). ويطيب لى أن أخبرك أن ماتمثله لعبة أوراق كالفينو لاتختلف البتة عن الكيفية التى يتولد عنها فهمنا للواقع .

تشبه لعبة أوراق كالفينو حوارنا الثنائى مع الطبيعة، وبعبارة أخرى مع بقية الكون . فكل لاعبٍ حول المائدة يمثل جوانب مختلفة من الطبيعة، أما أنت فتمثل المراقب أو الراصد، فمثلا قد يمثل أحد اللاعبين الاقتصاديات، والآخر يمثل الفيزياء والثالث، علم الأحياء والرابع علم الاجتماع .

وكل لاعب يكشف حينما يحل دوره قليلا عن قواعده وسلوكه مع مرور الوقت . والطبيعة ـ مثلها مثل اللاعبين ـ صامتة، بيد أنها تفصح عن نياتها من خلال الأحداث والبيئة المحيطة . ولا غرو فى أن اللغة التى تستخدمها الطبيعة للتواصل هى "المعلومات" . وتشير لعبة الأوراق إلى أن المعلومات تأتى فى صورة وحدات متقطعة، كل ورقة فى دورها، وليس بمقدورنا تقسيم الورقة إلى وحدات أصغر . وأول رسالة فى استعارة كالفينو لذلك هى أن هناك " ذرات " أساسية من المعلومات، هى التى تستعمل فى الكون بأسره . ونحن نطلق على هذه الذرات فى العلم اسم الكميات الضئيلة أو الشذرات Bits [١] أو الأرقام الثنائية، وسنبحث موضوع الشذرات بدقة أكبر فى الباب الثالث .

والرسالة الثانية فى قصة كالفينو ـ مهما كان ما قد يلوح من عدم وضوحها ـ هى أن أى تعاقب فى أوراق اللعب لابد وأن يؤوله الراصد (وهو فى حالتنا أنت وبقية اللاعبين) . وقد يكون التأويل مطابقا لما يرغب اللاعب فى توصيله أو قد يتنوع تنوعا عريضا بين الراصدين المختلفين .

---

(١) نحتت كلمة bits من كلمتى binary digits أى الأعداد الثنائية. (المترجم)

والأبعد من ذلك أنه قد يتولد لدى الراصد نفسه وجهات نظر مختلفة إزاء مارصده، وهذا مرادف للايقين المتأصل الذى نجده حين نرصد الطبيعة كما قد يتولد لدى اثنين من الناس تأويلان يختلفان اختلافا جذريا.

ومن الطريف أنه حين يحل دورك فى اللعب وتصبح أنت اللاعب، تصبح الطبيعة هى الراصد، وحين تلقي بورقتك فإن ذلك ينعكس على الطبيعة. وها هنا الازدواجية، فليس بوسعك أن توجد على المائدة دون أن تؤثر على اللعبة. وتلك هى الرسالة الثالثة فى قصة كالفينو، ففى حياتك الحقيقية أنت مراقب ولاعب فى آن واحد.

والرسالة الرابعة التى يمكننا استخلاصها من قصة كالفينو هى أن ذات الورقة قد تعني أشياء مختلفة تأسيسا على الأوراق الأخرى التى تسحب معها. وبصرف النظر عمن يرصدها، فلكل ورقة درجتها الذاتية من اللايقين، فورقة التنين الأحمر نفسها قد تعنى الخطر، أو الخوف أو قد تمثل مقاطعة ويلز، اعتمادا على الأوراق الأخرى . وما أن تنكشف كل مجموعة الأوراق حتى يصبح معنى كل ورقة - ضمن السياق - أكثر وضوحا. لذا، وبالربط بين نقطتى كالفينو الثانية والرابعة، فإن هاتين الورقتين، إضافة إلى أنهما تمثلان " الشذرات " تعتمدان على من يؤولهما وكذلك على الأوراق الأخرى التي تسحب معها. وانطلاقا من هذا المعنى فلا يمكننا أخذ كل ورقة على حدة، بل لابد من أخذهما فى الحسبان فى نطاق تعاقب الأوراق التى تسحب إلى جانبهما. ولاعجب فى أن هذه الخاصية فى العلم تندرج تحت المسمى العام السياقية "contextuality" وتنبع من هذه السياقية واحدة من أعظم الخلاصات الباهرة، وهى أنه يستحيل علينا التيقن من صحة تأويلاتنا للطبيعة، فالشذرة التالية من المعلومات قد تشوّه نظرتنا السالفة وتبدل كلية من جوهر الرسالة. ففى العلم - على سبيل المثال - قد نرى ألف نتيجة اختبار تطابق نظرية ما، إلا أن نتيجة تالية واحدة ربما تنحرف عنها تماما وتخبرنا أننا قد أسأنا فهم الرسالة التى تنقلها لنا الطبيعة تماما. ويعنى ذلك فى قصة كالفينو بالمثل أن ليس بوسعك أن تتأكد من الرسالة حتى تستقر الورقة

الأخيرة فى مكانها من الصف، فقد تبدل هذه الورقة الأخيرة مغزى القصة برمتها. ويذكرنا هذا بقوة بمقولة الفيلسوف الإغريقى القديم سقراط : "لايمكنك القطع بأن شخصا ما يعد سعيدا إلى أن يقضى نحبه". قد تحيا سعيدا للشطر الأكبر من حياتك، ولكنك - وحتى الرمق الأخير - لن تتيقن أبدا من أنك عشت حياة سعيدة . وسنرى أن هذا الصرح الباذخ من المعارف العلمية يتكئ هو الآخر على هذا النوع من المنطق الصارم، والقاسي بعض الشيء.

والتحليل الأكثر غورا فى لعبة كالفينو يجلب بالمثل بعض الإسقاطات الطريفة على رصدنا للطبيعة، فنحن البشر - مثل الراصد فى القصة - قد وصلنا للعبة متأخرين . وباعتبار اللعبة استعارة مجازية للحياة، فلو أن اللعب قد تواصل لعشر سنين، فقد وصلنا نحن بالكاد منذ دقيقتين. لقد كانت هناك عناصر من الطبيعة مثل الفيزياء، موجودة بها قبلنا ومنذ البداية الأولى. ومن ثمّ فإن كمًا هائلا من المعلومات قد نقل بالفعل ولم نأخذه نحن فى الحسبان ونحن نخلق النموذج الخاص بنا للواقع، فى حدود المعارف المتاحة لنا فحسب.

يقحم كالفينو اللاعبين فى القصة دون نقاش . لقد أعد المشهد بالفعل، إلا أن كالفينو لايخبرنا لماذا بدأت اللعبة ولا من دعا اللاعبين، تاركا هذا السؤال معلقا دون إجابة، كما هو معلق فى الواقع. ويثير ذلك نفس المسألة عن المكان الذى أتى منه اللاعبون، ثم يختصرها إلى تحدي "الخلق من العدم".

وبطبيعة الحال هناك الكثير عن تأويل الواقع، أكثر بكثير مما يمكن أن تصوره أية قصة كقصة كالفينو، وهى لاتزودنا بأية تفاصيل أو وصفات محددة عن كيفية تحديد كمية المعلومات وتطبيقها فى أى موقف بعينه، ناهيك عن الكون بأسره. فعلى سبيل المثال لايؤدي بنا ترتيب أوراق "التاروت" إلى أن نخلص إلى قصة مفردة، فكيف عسانا نقرر أى القصص أكثر رجحانا من الأخريات ؟ أم ربما لاينبغي أن نختار قصة واحدة، بل ندمج كل القصص فى قصة ضخمة واحدة ؟

وهناك جانب جدّ جوهرى نفتقده فى قصة كالفينو إذا ماثلنا بينها وبين الكيفية التى تقدم بها الطبيعة المعلومات لنا. فعلينا أن نتعامل مع حقيقة فى قصة كالفينو، وهى أنه ما أن تكشف الورقة، فما من سبيل إلى تغييرها. فكل ورقة حالة محددة (الصورة التى عليها)، وفى حين أن الحالة قد تؤوّل تأويلات مختلفة، فهى - بمجرد انكشافها - لاتتغير، فصورة التنين الأحمر لايمكن أن تتبدل - بسحر ما - إلى ورقة أخرى بمجرد أن تسحب الورقة التالية، أو بمجرد أن يرصدها أحد.

وحذف هذه الصلة المتبادلة بين الأوراق وكذلك بين الأوراق واللاعبين - وإن بدا معاكسا للبديهة، سنجده أمرا جوهريا عندما نناقش أفضل توصيف فيزيائى منا للواقع، ولنظرية الكم فى الجزء الثانى من كتابنا هذا.

ربما عرض هذا الكتاب للقارئ الذى لديه فكرة مبهمة عن ماهية المعلومات، ففى مناقشاتنا اليومية كثيرا ماتُعد المعلومات والمعرفة لفظين مترادفين. ونحن نعتقد أننا نعرف الشيء حينما يمكننا الحديث عنه طولا وعرضا باستفاضة دون أن يعارضنا أحد ممن يستمعون. على أية حال، ورغم أن هذا هو المعنى الشائع لتعبير "من الممكن معرفته"، فليس ذلك هو مايعدّه العالم معرفة، فبالنسبة للعالم يجب أن تشير المعرفة دائما إلى معرفة المستقبل. لذا فالمؤرخون ليسوا بعلماء، فهم يتكهنون بالماضى، بينما كل تكهنات العلم تنحو صوب المستقبل. إن نيلز بوهر Neils Bohr - وهو أحد "أجداد" نظرية الكم - قد قال عن هذه القضية ذات مرة مازحا: "من العسير عمل التكهنات، وبصفة خاصة عن المستقبل".

إن تخمين ماسيقع، ينطوي دوما على بعض المخاطرة، فحين نحاول التنبؤ بالمستقبل، نحتاج دوما إلى القيام بشطحات بخيالاتنا، إما لأن ما فى المستقبل - فى جوهره - غير مؤكد - وإما لأننا لاتتوفر لدينا معلومات كافية عنه . لقد تطرق كالفينو إلى هذا اللايقين " سلفا، حين أومأ إلى عدم إمكانية تأكدنا من الرسائل حتى تكشف آخر الأوراق على المائدة، فقد تُبدل تلك الورقة مغزى القصة برمتها . وعلى خلاف قصة كالفينو، حيث يوجد عدد محدد من أوراق اللعب، يبدو أن الطبيعة تلقي بما لانهاية له من الأوراق ولسوء حظنا يعنى ذلك أن علينا أن نحدس الرسائل التى تحاول الطبيعة

توصيلها كلما ازداد عدد الأوراق التى تفصح عنها. ونتيجة لذلك قد يثبت لنا أن الصواب جانبنا مع ورقة تالية، غير أن ذلك مجرد مخاطرة أصيلة لامحيص عنها وفقا لما تمليه طبيعة العلم.

وكمثال نمطى، عندما يدرس الفيزيائى ذرة مثلا، فإنه يحسب خواصها باستخدام الورقة والقلم، بل ويغلب فى أيامنا هذه الاستعانة بالحاسوب، ثم يمضي إلى المختبر ويجري قياسات (وفى أيامنا يختلف - كنمط عام - من يقومون بالحسابات عن أولئك الذين يقومون بالقياس، وإن كان الأمر لايحتاج لذلك).

وفى الختام يقارن الفيزيائى القياسات بمعطيات نظريته، فإذا ما تطابقتا بدرجة كافية فسيقتنع بصواب فهمه للظاهرة. وإذا ماتعارضت التجربة مع النظرية، بينما هو متيقن من عدم وجود خطأ جوهرى فى التجربة، فالنظرية - والحالة هذه - أى تأويله للرسالة التى تحاول الطبيعة توصيلها، لابد وأن تتغير.

وهذا هو أساس المنهج العلمى الذى ساعدنا فى تفهم الجوانب المتنوعة للطبيعة فى غضون فترة زمنية لم تتجاوز الأربعمائة عام، وهو ذات المنهج الذى يمكن اعتباره أحد الملامح المميزة للحضارة الحديثة.

وإذا كان السؤال عن علة وجود المعلومات فى الكون وعن كيفية توصيل الطبيعة لها قد ذهب بنا بعيدا، فإن مقصدنا النهائى أن نبين كى تصف المعلومات الواقع الذى نرصده . وسنقوم بذلك باتباع مقولة روجر بيكون "Roger Bacon" المأثورة: التحليل والتوليف: نبدأ بتحليل كل " ركائز " الواقع كل على حدة قبل أن نؤلف فيما بينها فى صورة موحدة شاملة.

وكل من ركائز واقعنا (ويمثلها اللاعبون فى قصة كالفينو) سيتم تحليله بمعيار كيفية تجسيده لتوصيل المعلومات. وبينما سأقوم بتقديم الرسالة التى تنقلها كل من هذه الركائز من خلال طريقتى الخاصة (تعدد مراكز المعلومات) فإن كل هذه الرسائل راسخة الأركان فى الأوساط العلمية . قد لايتفق القارئ مع وجهة نظري النهائية نحو تشفير الواقع encoding reality، بيد أنى آمل أن يجد المناقشة حول الركائز المستقلة عن بعضها، مثمرة فى حد ذاتها.

والركائز التى سنتناولها هى : ـ

الفصل الرابع ـ اللاعب الأول : علم الأحياء : كان أول وأهم تطبيق للمعلومات فى ميدان علم الأحياء، حيث تطور علم الجينات تماما باستعمال لغة "حفظ المعلومات" ونقلها. فالمعلومات هنا هى أسهل مايُفهم ولها معنى واضح ومحدد . وتشتهر المعلومات البيولوجية باستدامتها وصمودها، غير أن القواعد الأساسية فى الواقع عامة وشاملة، وبوسعنا استعمالها للتقدم بإطار جديد، يكفل لنا التوفيق فى مهمتنا .

الفصل الخامس ـ اللاعب الثانى : الديناميكا الحرارية. طالما كانت بين الفيزياء والمعلومات علاقة دائمة، وسأستعمل ذلك للحديث عن قانون الديناميكا الحرارية الثانى المنسىّ والذى ينص على ميل الكون للاتجاه للفوضى أو الشواش، وسأشرح كيف يُفهم هذا فى سياق المعلومات، وكيف لايتعارض مع الحفظ البيولوجى للمعلومات، وسأستخدم هنا بالمثل المعلومات كى أقدم رؤية مستحدثة لموضوعات احترار الأرض، والمذهب البيئى environmentalism، وأطرح منظورا جديدا لكيفية تخطيطك لنظام غذائى قويم.

الفصل السادس ـ اللاعب الثالث : الاقتصاديات. مادمت قد أقنعتك بأن المعلومات هى كل مايتضمنه علما الأحياء والفيزياء، فإننى أزعم الآن أن سلوك الإنسان مبنى بالمثل على نفس القواعد المعلوماتية ـ النظرية. وبصفة خاصة فالمقامرة فى العمليات العشوائية، كالرهان فى نواديه أو المضاربة فى سوق الأموال المالية تصل إلى حدها الأعلى عند اتباعنا لتلكم القواعد. وسنرى هنا كيف بوسعك أن تستثمر أموالك فى السوق بنجاح باستعمال قوانين المعلومات .

الفصل السابع ـ اللاعب الرابع : علم الاجتماعيات : البنى الاجتماعية الأكثر تعقيداً مثل توزيع المدن والثروات بين المواطنين والنظام الاجتماعى ينظر لها جميعا من خلال عين منظّر المعلومات . وهذا الباب هو تجميع للجزء الأول من الكتاب، يتم فيه

توحيد عدد من الظواهر المتناثرة من خلال منطق واحد مفرد. وسأناقش هنا كيف ترقى بمكانتك الاجتماعية وكيف يمكن أن تحدث التمييزات العرقية حتى فى داخل أكثر المجتمعات تعاطفا مع الأجانب.

الفصل الثامن - اللاعب الخامس : فيزيائيات الكم. فى الجزء الثانى من الكتاب سأشرح كيف أن المعلومات فى عالمنا الواقعى تختلف نوعيا عما يلوح لنا لدى النظرة الأولى، إذ أن للتعبير عن المعلومات فى أرقام كمّية - فى هيئة شذرات - قوة تربو كثيراً عما نظنه فى حيز الإمكان، ذلك لأن العالم - فى النهاية - هو ميكانيكا كمومية . ويفسر هذا الباب أساسيات المعلومات الكمومية التى تتميز ببعض الملامح التى تشذّ عن الملامح التقليدية، وسنرى كيفية الاتصال الآمن الذى يُعجز حتى المخابرات الأمريكية عن التنصت على المحادثات.

الفصل التاسع - اللاعب السادس : علم الحاسوب. يمكن استعمال هذا الفرع المستحدث من المعلومات، والمبنى على ميكانيكا الكم لإجراء الحسابات بأسرع من أية وسيلة خبرناها حتى الآن بحواسيبنا الشخصية (والتى يعبر عنها فى اللغة الشائع قبولها بالحواسيب التقليدية) . وها هنا سأشرح كيف أن السطو أو القرصنة على حسابك فى المصارف لن يقتضى - مع الحاسب الكمومى - سوى بضع ثوان، وكيف أن الأجهزة البيولوجية ربما غدت بالفعل قادرة على نوع مبسّط من الحسابات الكمومية.

الفصل العاشر - اللاعب السابع : الفلسفة. إذا كان الكون يحوي فى لبه معلومات كمومية - وهو ماسأشرع فى مناقشته فى هذا الباب - فإننا نعيد إثارة المشكلة العتيقة عن الحتمية فى مواجهة الإرادة الحرة . هل بوسعنا أن نتصرف بوحى من حريتنا، أم أن كل فعالنا مقدّرة سلفا ؟

سأحاول هنا إقناعك بان العشوائية والحتمية لاتتضادان، وأطرح مثالا أين تعملان جنبا إلى جنب كى تنقلا الأجسام - عن بعد - عبر الكون.

وبطبيعة الحال قد يجادل بعض المغالين، فى أن هناك حقيقة لاعبا واحدا فحسب فى الطبيعة، وأن هذا اللاعب هو الفيزياء ذاتها، فأيدى جميع اللاعبين الآخرين تتحرك طبقا للأوراق التى تكتشفها الطبيعة.

ومهما يكن الأمر فإننى أطرح فى هذا الكتاب أن عين هذه الأوراق هى أكثر المراحل محورية فى اللعبة، ومن هنا يجب معاملة جميع اللاعبين على قدم المساواة حتى مع احتمال بعض التكرار فى رسائلهم، فمثلا قد سلف لعلم الأحياء أن تضمن بعض ماتفصح عنه الاقتصاديات عن طبيعة البشر.

وما أن ننتهى إلى خلاصات تحليلنا، حتى نشرع فى التآليف مابين الرسائل فى البابين الحادى عشر والثاني عشر. ونتيجة هذا التآلف سيتكون الواقع مشفّرا فى هيئة شذرات من المعلومات.

وهنا سننظر إلى الكون باعتباره حاسوبا كموميا عملاقا، تجري به أضخم لعبة حاسوب ممكنة. إن معدّى البرنامج هم عينهم اللاعبون فى لعبة الأوراق لدى كالفينو، وبرنامجهم يوجز كل ماتعلموه خلال أدائهم اللعبة. وجريا على نفس المنطق يمكننا أن نحسب حجم المعلومات التى بالوسع تخزينها داخل أى جسم، حتى مخ الإنسان.

ويناقش الجزء الثالث من الكتاب كذلك أن المعلومات هى الكيان الوحيد الملائم كى تؤسّس عليه نظرية "كل شىء" النهائية، فالمعلومات لاتقدم فقط إطارا يمكن أن يُنظر للجاذبية فيه على أنها مجرد تداعيات لنظرية الكم، (إن تكامل نظرية ميكانيكا الكم مع الجاذبية هو أعظم تحدّ يجابه الفيزياء الحديثة) ولكن المعلومات توصلنا إلى " القانون من غير ما قانون ومن ثم تحل العقدة الجوردية[1] المتعلقة بمسألة الخلق من العدم.

---

(١) يطلق مصطلح حل العقدة الجوردية على حل جذرى لمشكلة مستعصية على الحل عن طريق العنف والتطرف، والأصل التاريخى للرواية أن الملك "جوردياس" "ميداس" فى مدينة جورديان (وسط غرب تركيا حاليًا) فى حوالى عام ٧٠٠ ق.م، قد عقد عقدة بالغة الضخامة والتعقيد، وتنبأ الملك جوردياس بأن الشخص الذى سيتمكن من حلها سيكون مقدراً له أن يقهر آسيا (التى كانت تشكل بصفة جوهرية العالم المعروف آنذاك). أخفقت كل المحاولات فى حل العقدة حتى أتى الإسكندر المقدونى (٣٥٦-٣٢٣ق.م) إلى مدينة جورديان عام ٣٣٣ق.م خلال حملته ضد الفرس، فحل المشكلة بأن أهوى على العقدة بسيفه فقصمها. وقد اتخذ غزو الإسكندر لآسيا الذى أعقب ذلك، بمثابة التحقق للنبوءة. (المترجم)

وستكون بعض الجوانب المطروحة فى الأبواب الأخيرة ذات طبيعة تأملية، أو مازالت موضع جدال فى الأوساط العلمية، وسأتولى - والحالة هذه - تنبيه القارئ على أية حال، فى حين قد يتبين خطأ بعض هذه النواحى، فإننى آمل أن يستمتع القارئ بهذه الرحلة الفكرية، وإني لأنهي حديثى هنا باقتباس من عمر الخيام الفلكى والشاعر الفارسى الشهير فى القرن الحادى عشر:

هؤلاء الذين قهروا كل علم وحرف،

وتلألؤوا كالمنارات بين أقرانهم،

لم يعثروا على الخيط من بين كل هذا الركام المتشابك،

فاكتفوا برواية قصة، ثم انقلبوا فى سبات عميق.

النقاط المحورية فى الفصل الثانى :

- تشكل لعبة أوراق "كالفينو" استعارة مجازية عميقة لأسلوب رصد الواقع واستيعابه.

- المعلومات هى اللغة التى تستخدمها الطبيعة لتوصيل رسائلها، وتأتي المعلومات فى صورة وحدات متقطعة غير متصلة، نستعملها فى بناء واقعنا الذى نتصوره.

- يمثل اللاعبون الرئيسيون فى لعبة أوراق كالفينو أوجه الطبيعة المختلفة . ولقد انتقيت أنا لهؤلاء اللاعبين أدوار: البيولوجيا والديناميكا الحرارية والاقتصاديات وعلم الاجتماع والفيزياء الكمومية وعلوم الحاسوب ثم الفلسفة.

- سيتم تحليل الرسائل الموجهة من كل من أولئك اللاعبين فى الأبواب القادمة تحليلا مبنيا على المعلومات كمحور أساسى.

- سيتمخض عن تحليل رسالة كل لاعب، منظورنا إلى الواقع وكيف يتم تشكله أو تشفيره.

الجزء الأول

(٣)

عـودة إلـى الأسـاسـيـات : الشـذرات والـقـطـع

لقـد ذاع مـفـهـوم المعلومـات هذه الأيام على أوسع نطاق بحـيث أصـبح تجنبـه مستحيلا، فأحدث ثورة فى أسلوب إدراكنا للعالم. ومن شأنك أن تعجب لهذا الشخص الذى لايعي أننا نحيا عصر المعلومات، وتتساءل: أين عساه كان عبر الثلاثين عامًا المنصرمة. إننا لم نعد ـ ونحن فى عصر المعلومات هذا ـ نتصارع مع الآلات البخارية أو قاطرات السكك الحديدية، بل نحن نتصارع لرفع قدراتنا على التعامل مع المعلومات، وترقية فهمنا لتناولها، كى نطور الحواسيب إلى سرعة أعلى، من أجل أساليب اتصالات أعلى كفاءة عبر مسافات أطول و أطول، ومن أجل أسواق مالية أكثر توازنا، ومن أجل مجتمعات أرقى حياة. ومن سوء الفهم الشائع أن عصر المعلومات مقصور على التكنولوجيا. حسنا .. دعنى أخبرك مرة واحدة وإلى الأبد أن الأمر غير ذلك. إن عصر العلم يعنى ـ فى لبه ـ التأثير القوى والتفهم الأفضل لأية عملية تعرض لنا فى الطبيعة، فيزيائية كانت أم بيولوجية أو اجتماعية، وأيا كان مسماها دون أن تستثنى شيئا.

وحتى مع إقرار الكثيرين بأننا نحيا فى عصر العلم، فمن العجيب أن مفهوم المعلومات ذاته مازال بعيدا عن الفهم السليم. وللتحقق من صحة ذلك، لعل الأمر يستحق أن نعود أدراجنا قليلا إلى العصر الذى سبقه، عصر النهضة الصناعية. كان الشغل الميكانيكى والحرارة المفهومين المحوريين إبان عصر الصناعة، الذى يمكن أن نقول إنه بزغ فى بواكير القرن الثامن عشر فى شمال إنجلترا. والناس يجدون اليوم

هذين المفهومين وقابلية تطبيقهما أكثر بداهة ويسرا فى الإلمام بهما من الدور المكافئ الذى تلعبه المعلومات فى عصرنا، ففى العصر الصناعى كان التطبيق المجدي للشغل الميكانيكى والحرارة جدّ واضح من خلال الآلات المصنعة، والتصميم الهندسى، والمباني، والسفن، والقطارات، إلخ، وكان من السهولة بمكان أن تومئ بإصبعك قائلا: "انظر .. هذه علامة من علامات عصر الصناعة".

ففى ليدز، على سبيل المثال، حيث اعتدت على التجوال عبر شارع فاوندرى Foundry Street بالمنطقة المسماة بهولبيك Holbeck ، مازالت آثار من الثورة الصناعية جدّ بادية، ومصنع تمبل لجون مارشال، ومسبك راوند لماثيو موراى شاهدان مرموقان على ذلك بصفة خاصة، من مبان ضخمة سامقة تبعث على التقدير والأسى لمئات من الأناس الذين عملوا فى ظروف مزرية الساعات الطوال كى يضمنوا الغذاء والكساء ووسائل الانتقال لوطنهم. وموراى Murray نموذج نمطى للمقاول ورجل الصناعة فى القرن الثامن عشر، فقد كون ثروته فى ليدز من صناعة القاطرات والآلات البخارية وآلات النسيج والعديد من الآلات الأخرى التى كانت جميعها تدار بالطاقة الحرارية.

وعملية استغلال الطاقة فى صورتها الحرارية لإنتاج الحد الأقصى من الشغل الميكانيكى المفيد، بسيطة وبديهية . فشحن الفحم الساخن داخل آلة تنتج البخار (بالحرارة) لتدفع عجلات القطار (بالشغل الميكانيكى) هو عملية يبدو استيعابها من بدايتها إلى نهايتها، ميسورا . ولكن، لماذا لايسعنا أن نتحدث بالمثل عن عصر المعلومات ؟ إن مفهوم المعلومات بالنسبة لى أوسع فى صلاحيته للتطبيق وحتى أسهل فى استيعابه من مفهوم الشغل أو الحرارة . فلماذا مازال يثير الارتباك ؟ أنا لاأعرف الإجابة، ولكن ثق بأنك مع الانتهاء من هذا الكتاب - إذا ماكنت أنا قد أحسنت أداء مهمتي - ستجد من السهولة بمكان أن تتعرف على دور المعلومات فى أثوابها التنكرية العديدة، مثلما عثر " موراى " على الشغل الميكانيكى أو الحرارة. وكثمرة إضافية، ستجد أن المعلومات أمر أساسى، وقابل للتطبيق بأكثر بكثير مما كنت تخال.

حسنا .. ماذا نعني حقا حين نتكلم عن المعلومات ؟ في حين أن مدلول المعلومات لايصعب فهمه، فقد يؤدي أحيانا إلى الحيرة نظرا للسياقات العديدة التي تستعمل فيها الكلمة، ومما يزيد الأمر سوءًا، أنه ما من مادة منشورة كافية عن المعلومات يسهل الوصول إليها . لقد ظهر في الآونة الأخيرة فيض من الكتب، إلا أن الكثير منها يغلب عليه الجانب الفني بحيث لايلائم القارئ من غير العلماء المتخصصين.

وباعتبار انخراطي في العديد من المجادلات عن صلة العلم بالاتصالات، فإنني كثيرا ماأشعر بالإحباط حينما يسألني البعض أن أوصيهم بمقدمة سهلة التناول عن المعلومات فلا أجد لديّ سوى اختيارات محدودة حقا. ولحسن الطالع، وبعد مضيّ خمسة عشر عاما في محاولة شرح معنى المعلومات لنفسي (وكذلك لغالبية من أقابلهم) فكرت : إن قبلت التحدي، فتلك أجدى وسيلة لإحراق بعض السعرات الحرارية وبعض الوقود في أنصاف الليالي. هناك علتان وراء بقاء مفهوم المعلومات مستعصيا على الوصول إليه، أولاهما هو الحقيقة البسيطة أن هناك العديد من الأساليب لتعريفها. فهل نعرفها مثلا على أنها الشيء الذي بوسعنا استعماله كي ننجز شيئا نافعًا، أم نستطيع الإبقاء على تسميتها بالمعلومات حتى وإن لم تجلب لنا نفعا ما ؟ هل المعلومات أمر موضوعي أم ذاتي ؟ هل تحمل - مثلا - نفس الرسالة أو النبأ، نفس المعلومات إلى شخصين مختلفين ؟ هل المعلومات ذات طابع بشرى صميم أم أن باستطاعة الحيوان أيضا أن يحلل المعلومات؟

وإذا ماذهبنا إلى أبعد من ذلك، هل من المستحب أن يكون لديك كم كبير من المعلومات مع قدرتك على التعامل معها سريعا، أم أن تضخم المعلومات كفيل بأن يغرقك ؟ إن مثل هذه الأسئلة تضفي بعض الإثارة والحيوية على التحدي .. تحدي صياغة تعريف للمعلومات يقبله الجميع ويصطلحون عليه.

والصعوبة الثانية فيما يخص المعلومات، هي أنها ما أن تعرّف في صيغة ذات نفع، حتى تقاس بأسلوب لا يتيسر نقله دون اللجوء للرياضيات . قد يدهشك أن تسمع

أنه حتى العلماء يمتعضون لدى فكرة إدخال معادلة رياضية أخرى. ونتيجة لذلك يتحاشى الناس حتى الآن - يستوي في ذلك الخبراء منهم وغير الخبراء - إشاعة هذا المفهوم فى أسلوب مفصل ودقيق، حتى أن ستيفن هوكينج Stephen Hawking حينما ألف كتابه " تاريخ موجز للزمن A Brief History of Time وهو الكتاب الذى كان من أكثر الكتب مبيعا، نصحه المحرر نصيحة شهيرة: "إن كل معادلة تُستخدم فى الكتاب ستهبط بعدد النسخ المبيعة منه إلى النصف".

وعلى الرغم من كل هذه التحديات، نجد للمعلومات تعريفا مقبولا وواضحا - وموضوعيا ومترابطا وقابلا للتطبيق على نطاق واسع فى نفس الوقت، فإذا جردنا المعلومات من كل التفاصيل غير ذات الموضوع يمكننا أن نصفى لبّ معناها فى ما لا يزيد على صفحتين.

ودونما اندهاش، نعثر على أساس مفهومنا الحديث للمعلومات لدى اليونان القديمة . فقد مهّد قدامى الإغريق الأساس لتعريفها حين تطرقوا إلى أن ماتحتويه المعلومات عن حدث ما يتوقف بكيفية ما على مدى احتمال واقعية ذلك الحدث. وقد برر الفلاسفة أمثال أرسطو منطقيا أنه كلما زاد اندهاشنا للحدث، كلما حمل هذا الحدث المزيد من المعلومات. وانطلاقا من هذا المنطق، فإن طلوع يوم خريفى صاف ومشمس فى إنجلترا من شأنه أن يكون حدثا مثيرا للدهشة، فى حين أن التعرض لتساقط رذاذ المطر بصورة عشوائية إبان ذلك الفصل لن يدهش أحدا، وذلك لارتفاع احتمال ذلك، أى أن احتمالية أن تمطر السماء فى إنجلترا لدى أى لحظة من الزمان، عالية. من ذلك نستخلص أن الأحداث الأقل رجحانا، أى تلك التى يندر احتمال وقوعها، هى التى تثير فينا دهشة أعظم، ومن ثم فهى التى تحمل إلينا معلومات أوفر. وانطلاقا من هذا المنطق نستنبط أن المعلومات ينبغي أن تتناسب عكسيا مع نسبة الاحتمال، أى أن الأحداث ذات الاحتمال الأقل تحمل معلومات أوفر . وبهذه الطريقة تُختزل المعلومات إلى احتمالات فقط، والاحتمالات بدورها يمكن أن تقدم مغزى موضوعيا، مستقلا عن تأويلات البشر أو عن أى شيء آخر (وهو مايعني أن ليس بوسعك عمل أى شيء لتغير من احتمال سقوط الأمطار فى إنجلترا، وإن كانت تلك حقيقة غير مستحبة).

وليس هناك من خاصية للمعلومات تفوق هذه فى أهميتها، وتقود - إلى جانب الموضوعية - إلى المقياس الحديث للمعلومات. هب أننا ننظر إلى المعلومات من خلال حدثين متعاقبين وإن كانا مستقلين . فعلى سبيل المثال، هناك احتمال معين وليكن ٧٠٪ أن أخرج الليلة من منزلي، كذلك هناك احتمال آخر قدره ٦٠٪ أن أتلقى مكالمة على هاتفي المحمول (ويمكن أن يحدث هذا فى استقلالية تامة عما إذا كنت موجوداً بالمنزل أم لا). فما هو إذن احتمال أن أخرج وأتلقى المكالمة وأنا خارج المنزل ؟ بما أن كلا الحدثين يتعين أن يقع لتحقق ذلك، فإن الفرصة الكلية للحدث هى حاصل ضرب الاحتمالين، ومقداره ٤٢٪ (سبعون مقسومة على مائة مضروبة فى ستين مقسومة على مائة).

فماذا عن كمية المعلومات فى هذين الحدثين المستقلين ؟ إذا كنت قد دهشت قليلا لحدث سالف، ثم وقع حدث آخر مستقل عنه، فإن دهشتك الكلية ستزداد، اعتمادا - فحسب - على نسبة احتمال وقوع الحدث الجديد. ومن ثم فإن المعلومات الإجمالية فى حدثين يجب أن تعادل مجموع مقدارى المعلومات فى كل منهما، بشرط أن يكونا مستقلّين. وعلى ذلك فالصيغة المعبرة عن مقدار المعلومات يتعين أن تكون فى صيغة دالة ما بحيث تكون معلومات حاصل ضرب الاحتمالين هى مجموع المعلومات المحتواة فى الحدثين كل على حدة. هل مازلت معى ؟ تجلد واصبر وستحصل على المطلوب .. أعدك، وبما يكفى من الاندهاش يمكن إيضاح أن هناك دالة واحدة فقط هى التى تحقق المطلوب، هى الدالة اللوغاريتمية (واختصار اللوغاريتم : لو).

لقد ابتكر اللوغاريتمات الرياضى الأسكتلندى جون نابير john Napier ، وقد أثبتت فائدتها الفائقة فى تبسيط عمليات الضرب، ولقد قال عنها بيير سيمون دى لابلاس Pierre Simon de Laplace عالم الرياضيات الفرنسى الشهير فى القرن الثامن عشر "لقد أطالت اللوغارتيمات - باختصارها للجهد الشاق ، أعمار الفلكيين للضعف". ففى تلكم الأيام، كان الفلكيون فى حاجة إلى حساب مسارات الكواكب والأجرام الأخرى يدويا، وغالبا ما أدى ذلك إلى أكداس من الأوراق المليئة بالحسابات. وعمليات

الضرب ـ بطبيعة الحال أسهل كثيرا اليوم حيث إننا جميعا نستخدم الآلات الحاسبة والحواسيب، والتى ـ على النقيض ـ تجعل اللوغاريتمات تبدو عتيقة الطراز، مثيرة للفزع.

وبإيجاز شديد فإن التعريف الحديث للمعلومات هو بالضبط: ماتحتويه المعلومة من حدث يتناسب مع لوغاريتم مقلوب احتمال حدوثه، أى إن :

ع = لو ١/ح $I = \log 1/p$

يمتاز هذا التعريف بقوته، إذ نحتاج فقط إلى تحقق شرطين ليمكننا الحديث عن المعلومة، أحدهما هو وجود الأحداث (يجب أن يحدث شىء ما) والثانى هو القدرة على حساب احتمالات وقوع الأحداث .. وهذا هو الحد الأدنى من المتطلبات التي يمكن التعرف بها على أى شىء نشاهده فيما حولنا . ففى علم الأحياء ـ على سبيل المثال ـ قد يكون الحدث تعديلا وراثيا حفزته البيئة، وفى الاقتصاد ـ من ناحية أخرى ـ ربما يكون الحدث هبوطا فى سعر السهم، وفى فيزياء الكم قد يكون الحدث إشعاعا ضوئيا من جهاز ليزر عند تشغيله . وبصرف النظر عن نوع الحدث بمقدورك تطبيق نظرية المعلومات عليه . ويتيح ذلك لى أن أطرح وجهة نظرى فى أن المعلومات تكمن فى ثنايا كل عملية نشاهدها فى الطبيعة .

أما وقد وضعنا تعريفنا للمعلومة، الذى لم يكن توصلنا له بالتعقيد الذى تخيلنا، فبوسعنا النظر إلى واحدة من أولى تطبيقات المعلومات لحل مشاكل العالم الواقعى . وتبدأ القصة التى تعود إلى أربعينيات القرن العشرين بمهندس أمريكى، هو كلود شانون[١] Claude Shannon بنيوجيرسى فى مختبرات بيل ذات الصيت العالمى .

بل وحتى قبل شانون حظيت مختبرات بيل بسمعة مدوية كمركز للتميز . وصلت معدات مختبرات بيل إلى ذروة قدراتها فى منتصف القرن العشرين، ومضت قدما حتى

---

(١) كلود شانون (١٩١٦ – ٢٠٠١) مهندس وعالم رياضيات أمريكى يلقب بأبى نظرية المعلومات. اعتبرت أطروحته لدرجة الماجستير من أهم بحوث القرن. (المترجم)

حصدت عددا استثنائيا من الجوائز (شمل ست جوائز نوبل) بفضل إسهاماتها فى العلم والهندسة وتطوير مجال عريض من التكنولوجيات الثورية، وحسبك منها : الفلك الراديوى، الترانزستورات[1]، الليزر، منظومة التشغيل UNIX [2] ولغة البرمجة[3].

لم يكن من الغريب أن الاتصالات الهاتفية كانت أحد مصادر افتخار بيل الرئيسية، ولاغرو، فقد سميت باسم المخترع النابه : ألكسندر جراهام بيل Alexander Graham Bell. كان هذا هو المجال الذى عمل فيه شانون، حيث كان دوره تقصّى كيفية إجراء الاتصالات بسرية وأمان أكثر. فمثلا عندما تتلفن "أليس" "لبوب" فإنها تعول على أناس على شاكلة شانون للتأكد من عدم تدخل أى شخص غير مخول يتنصت على مكالمتها الهاتفية.

كان هذا فى ذلك الوقت مطلبا ملحا، حيث كانت أمريكا على أعتاب الدخول فى الحرب العالمية الثانية. وبعد عدة شهور من البحث، وفق شانون إلى التوصل إلى الظروف التى تضمن توفير الأمان المطلق لإجراء الاتصالات دون أى استراق للسمع من قبل غير المخولين (ومن الطريف أن نظريته فى صياغة الشفرات وفكها هى مايشكل الأساس فى نظام تأمين سرية المعلومات الحديث، ففى كل مرة تسحب فيها نقودا من آلة صرف أوتوماتيكية، أو تبتاع شيئا عن طريق شبكة الإنترنت، عليك أن تزجى الشكر لشانون).

ومن خلال هذا التحدى شغف شانون فى المقام الأول بمعرفة كم من الناس يمكنهم الاتصال ببعضهم البعض من خلال منظومة مادية (فيزيائية) (شبكة تليفونات على سبيل المثال).

---

(١) الترانزستور : جهاز تحويل و/أو تضخيم يستخدم أشباه الموصلات، يعود ابتكاره إلى عام ١٩٤٨ على يد جون باردين ووالتر برادين ووليام شوكلى من مختبرات بل. (المترجم)

(٢) هى علامة مميزة لنظام تشغيل أقراص الحاسوب UNIX. (المترجم)

(٣) لغة البرمجة C : هى لغة برمجة حاسوبية عالية ابتكرت بين عامى ١٩٦٩، ١٩٧٣، صممها وطورها كن تومسون – براين كارينجان ودينيس ريتشى وحظيت بانتشار واسع وبنيت عليها لغات أخرى. (المترجم)

اعتقد شانون أنه بدلا من إرسال محادثة تليفونية مفردة عبر الأسلاك ربما كان بمقدورنا إرسال اثنتين أو ثلاث بل وربما أكثر. وبالطبع لم يكن هذا من واعز أكاديمى صرف، فعندما تعمل فى خدمة أضخم شركة فى العالم، فإن اعتصار أرباح أكثر من معدات البنية التحتية الموجودة سيصب فى المآل الأخير فى مصلحة مستقبلك المهنى. على أية حال وبالبحث فى هذه المسألة بتعمق أكثر، خرج شانون بذلك التعريف المتميز للمعلومة الذى ناقشناه آنفا وهو أن المعلومات تتناسب مع لوغاريتم مقلوب احتمال وقوع الحدث.

لخص شانون استنتاجاته في ورقة بحثية عام ١٩٤٨ زلزلت الأرض . كان هذا البحث إيذانا بمولد مجال النظرية الحديثة للمعلومات، مُحدثا ـ وللأبد ـ انقلابا فى طبيعة الاتصالات، ويشار إلى النظرية التى ابتكرها باسمه: نظرية المعلومات لشانون.

تخيل شانون شخصين يستعملان قناة اتصال، هما أليس وبوب اللذان يستخدمان خط الهاتف ليتواصلا. والشىء الأول الذى تحقق منه شانون هو أن عليه ـ ليحلل المعلومات المتبادلة بين أليس وبوب ـ أن يكون موضوعيا قدر المستطاع. لم يكن يعنيه أن تقول أليس لبوب "أحبك" أو "أمقتك"، فمن منظوره أن كلتا الرسالتين لهما نفس الطول، وفى النهاية سيدرّان على "مختبرات بيل" نفس المبلغ من المال. فالعواطف الإنسانية ـ وكما ناقشنا ـ ليست خاصية موضوعية فى الرسالة، ومن ثم فقد نحّاها شانون جانبا، كما نحّى بالمثل نوع اللغة التى يجرى بها الحديث. فمن شأن "مختبرات بيل" أن تجنى الأرباح سواء كان أليس وبيل يتواصلان بالإنجليزية أو بالإسبانية أو باللغة السواحلية، وبعبارة أخرى، لاينبغي أن يتوقف حجم المعلومات على الأسلوب الذى نختاره للتعبير، وإنما يتعين أن يتمثل فى شىء أساسى أكثر. ولقد عثر شانون على هذا الشىء الأساسى الذى كان يبحث عنه فى ابتكار سبق أن ابتدعه منذ قرن مضى معلم إنجليزى بالمدارس الأولية .. اسمه جورج بول George Boole .

فبينما كان بول عاكفا على صياغة نظريته الكبرى عن قانون الأفكار law of Thought التى نشرت عام ١٨٥٤، اختزل كل الأفكار البشرية فى التلاعب فى رقمين: الأصفار والآحاد. ويستهل" بول كتابه بالآتى: "هيكل البحث التالى هو تحرّي القوانين الأساسية للعمليات التى تجري فى الذهن والتى يتحقق من خلالها التبرير المنطقى للتعبير عن ذلك فى لغة حساب التفاضل والتكامل الرمزية، لإقامة علم المنطق وإرساء قواعده تأسيسا على هذه الركائز". وقد بيّن أن" مثل هذه التلاعبات الجبرية كلها التى تريد إجراءها بوسعك عملها باستخدام رقمين فحسب : الصفر والواحد . ويسمى هذا النظام المكون من الأصفار والآحاد فقط بالرقم الثنائى binary digit أو bit اختصارا. وقد استعمل شانون مفهوم البيتات أو الشذرات فى تطوير نظريته للمعلومات.

ومن الطريف - وهذه ملحوظة جانبية - أن الافتقار إلى الصفر كان أحد المعوقات التى منعت قدامى الإغريق من صياغة نظرية معلومات متكاملة، فلم يكن مفهوم الصفر موجودا فى اليونان القديمة، إذ لم يخطر لهم على بال أن "العدم" يستحق أن يُرمز له برقم. وفى الواقع فإن الهنود هم من "ابتكروا" الصفر قبل ميلاد السيد المسيح، ثم نقلوا هذه المعرفة فى العصور الوسطى إلى الفرس والعرب، الذين نقلوها بدورهم للأوروبيين.

ولدى الأوروبيين الآن بعد أن تسلحوا بالصفر، وببعض الحيل التى استقوها من قدامى الإغريق - نظام أرقام مرن يفضُل نظام أرقام الرومان ثقيل الظل. وقد لعب نظام الأرقام المتطور هذا دورا بارزا فى تقدم العلم والرياضيات، وأفضى بنا فى النهاية إلى عصر النهضة، الذى أخذ بيدنا بدوره إلى العصر الحديث. إن قصة "الصفر" فى حد ذاتها تخلب اللب، وهى حقا موضوع جدير بأن يخصص له كتاب مستقل.

والآن .. فلنعد إلى شانون ومهمته فى تحسين الاتصالات مابين أليس وبوب . فإذا ماتزوّدت أليس بنظام حروف (بول) الشامل فمن شأنها أن ترمز إلى رسالة "أحبك" بالرمز (١) فى حين يمكن تشفير رسالة "أمقتك" إلى الرمز (٠) وكل مانحتاج

الآن هو معرفة إرسال أليس للرسالة (٠)، واحتمال إرسالها للرسالة (١)، وبعبارة أخرى، ماهو احتمال حبها لبوب من عدمه.

فلنقل إن بوب جدّ متيقن - باحتمال مقداره ٩٠٪ مثلا - من أن أليس سترسل له الرسالة (٠) التى مؤداها أنها تكرهه، ولتتخيل الآن أنه يلتقط الهاتف وينصت فإذا بالرسالة (١) مرسلة إليه عبر قناة الاتصال، سيتعجب كثيرا لأن احتمال استماعه لها يتدنى لنسبة ١٠٪، ومن ثم فهذه الرسالة تحمل معلومات أكثر.

(بطبيعة الحال لايتبادل أليس وبوب الحديث بالأصفار والآحاد، بل إن أليس تقول "أحبك" أو "أمقتك" ويتولى الجهاز فى نهاية خط الهاتف تشفير هذه المعلومة فى صورة شذرات يجري تفكيك شفرتها إلى الرسالة الأصلية .. إما "أحبك" أو "أمقتك").

يمكن بسهولة تعميم هذا الإطار ليشمل رسائل أكثر تعقيدا مثل "دعنا نلتقي أمام نصب نيلسون التذكارى بميدان الطرف الأغر بلندن"، فيمكن تشفير ذلك فى صورة سلسلة من البيتات مثل : (١٠٠٠١٠١٠١٠٠١١٠٠)، وبالطبع سنفضل استخدام عدد أقل قدر المستطاع من الأصفار والآحاد فى كل رسالة، حيث إن ذلك يمثل كفاءة أعلى فى استخدام الهاتف (أى أننا يمكن أن نجمل الرسائل ونرسل عددا أكبر منها عبر قناة الاتصال) . والقاعدة العامة التى استخلصها شانون هى أن الرسالة الأقل احتمالا تحتاج فى تشفيرها إلى سلسلة أطول من الأرقام فى حين يلزم للرسالة ذات الاحتمال الأعلى عدد أقل من الشذرات. والأساس المنطقى وراء هذا هو أن الرسائل التى يكثر تبادلها يتعين أن تكون قصيرة، وإلا فإننا نهدر - دون ضرورة- طاقة الخط الهاتفى. ألا يبدو الأمر واضحا الآن ؟

إذا ما نظرنا إلى اللغة كقناة اتصال، فسنجد أن هذه القناة قد تطورت بصورة طبيعية إلى وضع أكثر ملاءمة لنا، فالكلمات التى نكثر من استعمالها مثل أداة التعريف وحروف الجر "من "و" إلى" وحروف العطف، قصيرة للغاية لارتفاع نسب احتمالات استخدامها، أما الكلمات الأقل احتمالا فى استعمالها، فعلى العكس تكون

طويلة، ومن هذا المنطلق يمكننا الوقوف على مدى كفاءة اللغة الإنجليزية مقارنة بالألمانية أو الفرنسية أو السواحلية برصد عدد الأحرف المستعملة فى توصيل أكثر الكلمات والعبارات شيوعا.

ومن الطريف أن جورج زيبف George zipf قد توصل عام ١٩٤٩ إلى أمر مشابه بصورة مستقلة إبان تحليله للغات، فوجد أن كثرة استعمال الكلمة تتناسب عكسيا مع رقم ترتيبها فى جدول الشيوع. فأكثر الكلمات شيوعا تتكرر نحو ضعف مرات الكلمة التالية لها فى قائمة شيوع الاستعمال، وهذه الأخيرة تتكرر بضعف ماتتكرر الكلمة الرابعة فى ترتيب الشيوع وهكذا، وبالمثل برر شانون منطقيا أن التشفير الأكثر ملاءمة، الذى يصل بكفاءة استغلال طاقة قناة الاتصال إلى حدها الأقصى (وبالتالى أقصى ربحية لمختبرات بيل) هو الذى يجعل طول الرسالة متناسبا مع لوغاريتم مقلوب درجة احتمال وقوع الحدث، وبالتالى فإن نفس مقياس المعلومة الذى بحثناه سيتحول إلى وضع أفضل استغلال لأية قناة اتصال فى صورة كمية.

وقد صيغت أعمال ضخمة من أجل تعميم نظرية شانون للمعلومات سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة فى تطبيقات متنوعة. وقد وقعت على بعضها فى أواخر التسعينيات مع أطروحتى لدرجة الدكتوراه التى ترجمت كيف يمكن تطبيق نظرية شانون للمعلومات فى مجال ميكانيكا الكم، فقد بينت أن المعتقدات الأساسية فى نظرية شانون للمعلومات مازالت حية وأن لديها الكثير مما تقوله لنا عن أحدث نماذجنا للفيزيائيات .. وهناك المزيد عن ذلك فى الجزء الثانى من الكتاب.

عندما انتهيت من أطروحتى، أهدانى أصدقائى وزملائى - على سبيل التذكار - صورة داخل إطار لشانون مع توقيعاتهم جميعا على ظهرها، فقد كانوا يعون جيدا كم تأثرت بعمل شانون وارتأوا فى هذه الصورة خير هدية لى، أنا الذى أمضيت معه من الوقت أكثر مما أمضيت مع أى منهم. ويبدو شانون فى الصورة عالما مفكرا (متميزا)، يجتهد فى توظيف العلم للرقى بالعالم فيما حوله وفى إشباع نهمه الذاتى إلى المعرفة. ولكم كانت لفتة طيبة منهم !

بودى أن أختم هذا الباب بقصة مسلية: لم يطلق شانون على عمله اسم المعلومات الكمية، بل أسماه "الإنتروبيا". وماكنا نطرحه حتى الآن عن نظرية معلومات شانون، هو فى الواقع مايعرف بإنتروبيا شانون بين أوساط المهندسين والرياضيين وعلماء الحواسيب والفيزيائيين.

لقد برزت كلمة " الإنتروبيا "بمجرد أن اشتقّ شانون معادلته عن لوغاريتم مقلوب الاحتمالية، إذ سعى إلى "جون فون نويمان john von Neumann"(١) وهو رياضى معاصر نابه أمريكى من أصل مجرى، راجيا منه النصيحة حول تسمية هذه الكمية التى ابتكرها حديثا . فاقترح نويمان كلمة "إنتروبيا"(٢). وفى رواية حديثة أن فون نويمان قد فعل ذلك حتى يمنح شانون ـ ببساطة سلاحًا فعالاً يعينه فى المناظرات العلمية، إذ ما من أحد يعرف كنه "الإنتروبيا" حقيقة . وفون نويمان معروف بملاحظاته اللماحة التى تجعل من الأسطورة أمرا مقبولا ظاهريا.

وعلى أية حال، فالسبب الحقيقى هو أن مقياس شانون كان قد وُجد سلفا فى الفيزياء تحت مسمى الإنتروبيا، إذ استحدث الفيزيائى الألمانى رودلف كلاوزيوس Rudolf clausius مفهوم الإنتروبيا قبل شانون بنحو مائة عام.

وللوهلة الأولى، لايبدو ثمة علاقة بين الإنتروبيا بمعناها الفيزيائى، والاتصالات وطاقات قنواتها، على أنه ليس من قبيل المصادفة أن لكلتيهما نفس الهيئة. وسيكون ذلك مفتاحنا إلى مناقشة القانون الثانى للديناميكا الحرارية، بل وسيزودنا أيضا بنظرة متبصرة إلى الظواهر الاقتصادية والاجتماعية.

---

(١) كان جون فون نويمان (١٩٠٣-١٩٥٧) من أهم علماء الرياضيات فى العصر الحديث، كتب خلال حياته ١٥٠ بحثا منشورًا فى الرياضيات البحتة والتطبيقية والفيزياء. كان هو وأينشتاين من ضمن أربعة اختيروا للتدريس بمعهد الدراسات المتقدمة. (المترجم)

(٢) الإنتروبيا : تعنى باليونانية "التحول" وتترجم فى العربية أحيانًا "بالاعتلاج"، وهى في معناها الفيزيائى فى الديناميكا الحرارية مقياس للتشوش أو الفوضى (حركة لايمكن التنبؤ بها) للجسيمات والطاقة غير المتاحة فى المنظومة الفيزيائية. (المترجم)

وفى إيجاز، ولكى يحلّ شانون مشكلة أفضل استغلال لطاقة القنوات ويصيغ نظريته للمعلومات، فإنه وقف على أكتاف عمالقة كثيرين آخرين (ونحن هنا نستعير عبارة إسحق نيوتن الشهيرة)[1].

ويضم فريق هؤلاء العمالقة : قدامى الإغريق، وجورج بول، وجون نابيير، وجون فون نويمان، فليس هناك فى عالم المعرفة من هو معزول تماما، وما من "كلينت إيستوود[2] علمى. غير أن هذا لاينقص على الإطلاق من إنجاز شانون التاريخى، فشانون جسّد الفكر والوعى، والقدرة على تجميع الأفكار المتنوعة معا، ليفرز واحدا من أجلّ الاكتشافات فى القرن العشرين.

---

(١) فى رسالة من نيوتن إلى زميله العالم "روبرت هوك" كتب : "إن كان قد قدّر لى أن أرى لمدى أبعد، فإنما كان ذلك بوقوفى فوق أكتاف العمالقة" اعترافًا من نيوتن بأن أفكاره الذاتية إنما تأسست على تصورات أسلافه على شاكلة جاليليو وفيثاغورث. (المترجم)

(٢) اشتهر الممثل كلينت إيستوود بدور الرجل الحازم خشن الطباع. (المترجم)

النقاط المحورية فى الفصل الثالث :

- مفهوم المعلومات مفهوم جوهرى، ويمكننا أن نصفه بالموضوعية.
- فى عصر المعلومات يرتبط العديد من مشاكلنا رأسا بالإفادة من المعلومات (مقارنة بالحرارة والشغل الميكانيكى فى عصر النهضة)
- وحدة المعلومات الأساسية هى الشذرة bit وهى رقم يأخذ القيمة إما الصفر أو الواحد.
- المعلومة هى مقياس للمدى الذى يبعث به الشىء علي الاندهاش، فالأحداث قليلة احتمال الحدوث تحوي درجة أعلى من المعلومات، أما الأحداث ذات احتمالية الوقوع العالية فتحوي النزر اليسير من المعلومات.
- إذا ما أراد فريقان أن يتواصلا بكفاءة، فعليهما أن يشفّرا رسائلهما فيما بينهما وفقا لوصفة شانون، فالرسائل ضعيفة الاحتمال ينبغي أن تحتوى على الكثير من الأصفار والآحاد، أما الرسائل كثيرة التداول فيتعين أن تخصص لها شفرة أقصر.

(٤)

قصة النظام الرقمي : الحياة - كلمة ذات حروف أربعة

سلطت الأضواء على لينون Lennon وماك كارتني Mc Cartney[١] مع أدائهما الموسيقى للقول المأثور العتيق "إن الحياة تمضي Life goes on" وكما كانت واحدة من أكثر الأغنيات جاذبية من بين ألبومهما الأبيض فى عام ١٩٦٨، فإن هذه واحدة من أبسط العبارات وأعمقها من بين ما عرفنا . ففى ثنايا مظهرها الخارجي تكمن رسالة ذات أهمية عظمى.

إن حقيقة وجود حياة على الأرض، منذ تشكلها تقريباً، تجسد بجلاء قدرتها على الصمود . ومع الانطباع المؤثر الذى يخلفه هذا فينا، فإننا نرى كل يوم شاهداً على مدى هشاشة بنيان الكائنات الحية المفردة .لذا، فإن السؤال الذى يبرز مراراً وتكراراً فى الدوائر العلمية هو : كيف لهذا الشيء البعيد كل البعد عن الكمال، أن يصمد على قيد الحياة هذه الحقب الطويلة ؟ كانت هذه إحدى معضلات علم الحياة الكبرى. ومن الأمور الطريفة أن أول من قطع خطوة كبيرة فى الإجابة على هذا السؤال، لم يكن عالم أحياء، وإنما كان رياضياً، لقد التقينا به من قبل .. حين نصح شانون بأن يستعمل كلمة " الإنتروبيا " لتعريف دالة المعلومات . أجل .. إنه جون فون نويمان من جديد . لقد بين فون نويمان أن الشيء الذى يقارب الكمال، يمكن أن يتشكل من مكونات يعوزها

---

(١) كان جون لينون (١٩٤٠-١٩٨٠) وبول ماك كارتنى (١٩٤٢-   ) مغنيين وشاعرين كتبا أغلب أغانى فرقة البيتلز الشهيرة فى ستينيات القرن العشرين . (المترجم)

الكمال. ويبدو هذا الأمر متناقضًا بعض الشيء، أليس كذلك ؟ فمن شأن المرء أن يظن – كأمر بديهي – أن بناء شيء كامل يقتضي أن تكون أجزاؤه بالضرورة كاملة. وهذه إحدى المشاكل المحورية في المنظومات الحيوية. ولكن كيف يتأتى لرياضي أن يفهم الحياة هذا الفهم الجيد بدون أن يتاح له أي برهان تجريبي، وليس لديه – للإنصاف – دراية كافية بعلم الأحياء ؟ إليك التفسير:

تساءل فون نويمان : تُرى .. كيف يتأتى لنا أن نصنع شيئًا قادرًا على الصمود الطويل من أجزاء قصيرة العمر للغاية ؟ هب " جدلاً " أننا نريد أن نسجل رسالة ونود أن نتأكد من أن يستديم بقاؤها لعشرة آلاف سنة قادمة حتى تفيد منها كل الأجيال اللاحقة. هب مثلاً أنني اكتشفت سر السعادة الأبدية. (لم يحدث هذا بالطبع وليس لدى – مثلك تماما – مفتاح لها، وإن كنت أحيانًا أشك في أن الإجابة تكمن في مكان ما بين سيجار وقنينة ويسكي من الشعير المخمر)، وافترض أنني أود لو يفيد أحفاد أحفادي مما اكتسبته من حكمه، فكيف ياترى يمكنني التأكد من أن تبقى رسالتي مصونة طوال هذه الحقبة المديدة، بينما لا أعرف شيئًا عما عساه يحدث مستقبلا ؟

قد يبدأ القارئ المتبصر في إدراك ما يربط ذلك بالسؤال الذي طرحه شانون في الباب الأول[1] عن الاتصال بين أليس وبوب. تخيل أنني أنا – بدلاً من أليس – من يقوم بتشفير هذه الرسالة ذات الأهمية البالغة، وأن قناة الاتصال – التي كانت سلك الهاتف في الصورة الأولى – هي الآن .. الزمن. وعلاوة على ذلك، فمتلقي الرسالة – بوب آنفا – هو جيل من البشر ممن يحيون في المستقبل البعيد وتود أن تصلهم رسالتك . يجسد هذا كم يتسع نطاق تأويلنا لمعاني قناة الاتصال ومستخدميها. ولتدعيم هذه النقطة، يمكنك أيضا اعتباري أنا – كاتب هذا الكتاب – في مقام أليس، واعتبار الكتاب في مقام قناة الاتصال التي أنقل أفكاري عبرها، واعتبارك أنت القارئ في مقام بوب الذي يتلقى هذه الأفكار.

(١) هكذا في الأصل وصحتها في الباب الثالث. (المترجم)

لعلك تقول إن الاحتفاظ بالرسالة مصونة أمر سهل التحقيق، فما علينا إلا أن نهيئ خزانة محكمة متينة ونودع فيها الرسالة ونغلقها وننتظر . على كل حال لن تبقى رسالتك إلا بمقدار ما تبقى خزانتك المتينة تلك . إن الكوارث سواء الطبيعية أو التى يصنعها الإنسان والأوبئة والأمراض وغيرها من العوامل ستؤثر كلها فى مدة بقاء الرسالة . لقد اعتقد المصريون القدامى أن الأهرام متينة بما فيه الكفاية، بيد أنها تآكلت عبر ستة آلاف عام وربما تختفي تماماً خلال بضعة آلاف سنة قادمة . وفى الحقيقة فإن كوكبنا نفسه عرضة للتدمير فى مستقبل ليس بالبعيد جداً من جراء تهديدات عدة (وليست كلها خارجية كما تعلم دون شك) . وبأخذ كل هذه الاعتبارات فى الحسبان، كيف تُرى سأضمن ترجيح احتمال وصول رسالتي لأخلافى ؟

إن هذه القصة عن توصيل رسالة عبر الأجيال هى ما كان يشغل بال فون نويمان عندما صاغ سؤاله . ويمثل هذا السؤال أيضًا استعارة مجازية طريفة للحياة، التى تهدف قبل كل شىء إلى الصمود . سيكون من قصر النظر - بناءً على المناقشة السابقة - أن نستعمل هيكلا غير متحرك وإن كان متينا لحفظ الرسالة . فمثل هذا الهيكل ليس بالضرورة منيعا ضد تقلبات البيئة الخارجية .

إن ما نحتاجه هو شيء قادر على التعامل مع البيئة، مهيأ كى يتجاوب مع ما سيتعرض له مهما تكن طبيعته، ينبغي أن يكون قادرا على التكيف، والحركة، وتحاشي العقبات والأخطار إذا ما تعرض لها، على أنه يحتاج إلى أن يقوى على التعامل مع هشاشته هو نفسه . وأيا كانت مادة حافظ المعلومات هذا، فسيكون له بالقطع عمر محدود، فما من حاشدة (بطارية) تعمل للأبد، وما من قلب ينبض للأبد .

ولتجسيد هذه النقطة، فلنفترض أن بوسعنا أن نبنى إنسانًا آليًا قادرا على الصمود إلى الأبد (به حاشدة ذات عمر لا نهائى، ومكون من مكونات لا تصدأ، إلخ) لنحفظ فيه المعلومات . بالإضافة إلى ذلك بمقدورنا أن نفترض أن ذلك الإنسان الآلى يمكنه فى ذات الوقت التعامل مع ظروف البيئة المعقدة وحماية نفسه من التلف . قد يفي هذا بالغرض، ولكن ما يبعث على القلق هو : ما هو احتمال تصنيع هذا الجهاز ؟

(وكما سلف القول : ما من حاشدة تعمل للأبد وما من قلب ينبض للأبد)، وحتى إذا افترضنا جدلاً أننا صنعناه بأقصى ما لدينا من إمكانيات، فما من شك فى أن صلاحيته ستنفد لدى مرحلة ما . وفى عداد المستحيل أن يحصن هذا الإنسان الآلى ضد كل احتمالات التلف الممكنة وتقلبات البيئة.

وماذا إذن إذا لم نكتف بإنتاج إنسان آلى واحد وأنتجنا منه المئات بل الآلاف ؟ قد تبدو هذه فكرة طيبة حيث أنها تطيل من عمر الرسالة، ولكننا – فى المآل الأخير – سنمتلك عدداً محدوداً من الروبوتات يأخذ فى التناقص بمضى الزمن. وسينفد عمرهم إن عاجلا أو آجلا.

ولكن هاهنا تتجلى عبقريتك، فتسائل نفسك: "لماذا لا أصنع روبوتا متينا، وقادرا على استنساخ نفسه مرات عديدة، وفى هذه الحالة سينقل الرسالة إلى كل النسخ التى سينتجها من نفسه وستنقل النسخ الرسالة بدورها إلى أخلافها وهلم جرا، وهكذا مع كل جيل قادر على نقل الرسالة إلى جانب استنساخ نفسه، سيكون لدينا فرصة ديمومة الرسالة إلى الأبد!

هذا هو جوهر ما استكشفه فون نويمان فى ورقته البحثية عن الروبوتات ذاتية التكاثر. وكان إسهامه الرئيسى هو توضيح كيف يمكن حدوث التكاثر للروبوتات المصنعة من مكونات معيبة. ولم يكن هناك داخل دوائر الهيئات العلمية – فى زمن فون نويمان – من لا يجادل فى مثل هذه المقاربة.

كان هناك اعتراضان رئيسيان على مبدأ التكاثر الذاتى، أولهما – ووفقا لكلمات فون نويمان – إذا كان فى مقدور الإنسان الآلى أن يبنى إنساناآليا آخر، فلابد أن يتناقص مستوى التعقد من الأب المنشئ إلى الابن المنشأ – أى إذا استطاع (أ) إنتاج (ب)، فلابد أن (أ) كان محتويا ـ بطريقة ما ـ على توصيف كامل لـ (ب) . وبهذا المعنى سيبدو أن نتوقع نوعا من الاتجاه إلى التدهور فى الجودة، أى النقصان فى درجة التعقد عندما يصنع الروبوت آخر جديدا، وهو اعتراض دامغ، يبدو فى تعارض كامل

مع خبراتنا اليومية . فالبادى لنا أن الحياة آخذة فى التعقد أكثر من ميلها إلى التحول إلى كيانات أكثر بساطة. لاحظ أن نويمان يجعل تعقد الإنسان الآلى وثيق الصلة بما يحويه من معلومات، أى كلما زاد تعقد الروبوت كلما زاد عدد شذرات المعلومات اللازمة لتوصيفه بدقة . وكملحوظه جانبية أذكر أني قد اقترحت أساليب مختلفة للحديث عن التعقد البيولوجي، وسنعرض لبعضها فيما سيلي من الكتاب.

والاعتراض الثانى على مبدأ التكاثر الذاتى يرتبط بالاعتراض الأول، وهو يبدو الآن مناقضًا للمنطق لا الخبرة فقط . فاذا ما أنتج (أ) روبوتا آخر (ب)، فيبدو أن (ب) يحتاج – بطريقة ما – أن يكون فى البداية محتوًى داخل (أ). ولكن هب أن (ب) يريد أن ينجب (ج)، ألا يعني ذلك أن (ج) كان محتوًى داخل (ب)، ولكن (ب) محتوًى داخل (أ)، إذن فإن (ج) محتوى داخل (أ)، (هل أخذ رأسك فى الدوار ؟) إذن فجوهر ما نحاول أن نقوله، هو أنه إذا ما أردنا أن يستديم شيء ما لمئات من الأجيال، فيبدو أن علينا أن نخزن كل النسخ المتعاقبة داخل النسخة الأصلية، فإذا ما عممنا هذا على عدد لا نهائى من النسخ فمن الواضح استحالة ذلك ماديا، إذ يعني أن على (أ) أن يخزن كمية لا نهائية من المعلومات.

ويذكرني هذا الاعتراض الثانى – على سبيل المجاز – بقصة نزيل مستشفى الأمراض العقلية – الذى آلى على نفسه رسم صورة للعالم بأسره بأدق تفاصيله. فهو يحتاج لأن يبدأ من مكان ما، ومن ثم فهو يبدأ برسم حديقة المستشفى الذى ينزل به، وبعد فترة – وهو فرح بتصويره للحديقة، يتحقق من أن لوحته ينقصها شيء ما، فهو ذاته لا يظهر فى الرسم، إذ فيما هو منهمك فى تصوير أدق تفاصيل الحديقة جميعها بكل تعقيداتها، سهى عليه أن يضمن ذاته – هو الرسام – فى اللوحة ولكى يصحح ذلك فإنه يضمّن نفسه فى اللوحة، فيكتشف أن الرسم ما زال ناقصا، فهو ما زال خارجه. لقد رسم نفسه فى اللوحة، ولكنه هو ذاته – الرسام الذى رسم الرسام – ما زال يحتاج أن يُتضمن . ومن ثم فإنه يصحح هذا الخطأ. والآن تحتوى لوحته على رسام فوق قماش يحتوى على رسام يرسم الحديقة . وبينما هو يقلب الأمر

مراراً وتكراراً، يتحقق - لفرط رعبه - أن اللوحة ما زالت غير مكتملة، بل والأسوأ من ذلك أنه لا يستطيع أن ينهى مهمته مطلقا (إن كونه مختلا عقليا لا يمنع كونه ذكيا، ونصف أعضاء كليّتى بالجامعة مستعدون للإدلاء بشهادتهم على صحة ذلك). وهكذا يجد الرسام نفسه أسيراً لما يسميه الرياضيون "التسلسل اللانهائى infinite regression" .

لقد رأينا فى الباب الأول أن هويلر ودويتش واجها ذات المشكلة عندما تصورا قانونا متناهيا للطبيعة، يتضمن كلَ القوانين الأخرى. لقد رغبا فى قانون متكامل، لا يحتاج إلى أى قانون آخر خارجه كى يشرحه. وبالمثل عندما نقارن ذلك برسامنا، نجد أن التناقض هو أنه، بصرف النظر عن مدى البراعة التى (يرسم) بها هذا القانون الواقع، ليس بمقدروه البتة أن ينتج لوحة تضم كل شىء، لأنه يخفق دائماً فى تضمين نفسه.

ويبدو أن الطبيعة تواجه نفس التحدى حينما تحاول أن تحل مشكلة إعادة تخليق الكائن الحى، فالكائن الحى يبدو فى حاجة لأن يخزن نسخة من نسله، الذى يبدو محتاجًا لتخزين نسخة من خلفه هو وهلم جرا. فهل يمكننا الإفلات من هذا التعاقب السرمدى أبداً ؟ وهل الحياة - وكما نعهدها - هى فى واقعها استحالة منطقية ؟

كان فون نويمان على دراية طيبة بهذين الاعتراضين، وقد كان هذا بالضبط السبب فى كتابته لبحثه، كى يفندهما ويوضح إمكانية التوالد سواء منطقيا أو عمليا، دونما نقصان فى تعقد الأجيال الجديدة . ونظراً لأن فون نويمان لم يحزْ دراسة رسمية فى علم الحياة - وإنما كان يعتمد على قوة أفكاره المجردة - فإن توصله إلى هذه النتيجة المشهودة التى هى علامة فارقة فى هذا العلم، لما يدير الرأس فعلا.

وترتكز فكرة فون نويمان المحورية على حقيقة أن هناك انفصالا بيّنا بين المكونات المختلفة للعملية، فإذا تخيلنا رسالة تحتوى على كل التعليمات الضرورية لإنتاج نسخ من شىء ما (وليكن بيتًا، او سيارة، أو مبرّدا) فإن الناسخ الذى ينسخ التعليمات، إلى جانب من يتولى تركيب تلك النسخ طبقا للتعليمات، هما بصفة جوهرية كل ما نحتاجه كى تتسلسل عملية النسخ بمرور الزمن إلى ما لا نهاية. وذلك هولبّ تناول فون نويمان

للمسألة : وعلى أية حال، وبهدف استكمال الصورة، دعنا نسقط من حسابنا المكونات اللازمة لكمال عملية التكاثر الذاتى (المعروفة فى اللغة الأحدث بالاستنساخ الذاتى) . ولعل القارئ سيجد فى الصفحتين التاليتين تحديا لذهنه، إلا أن الأمر يستحق بذل الجهد كى تتعرف بنفسك على تفاصيل النتائج التى تعدّعلامة فارقة.

فلنرمز بالرمز M لآلة تركيب شاملة، بمعنى أن باستطاعتها تركيب أى شىء آخر إذا ما أعطيت التعليمات السليمة (I)، ولتكن (X) هى ماكينة الاستنساخ المتخصصة التى بوسعها استنساخ التعليمات (I) وتغذيتها داخل الشىء المناظر الذى شيدته الماكينة (M)، وعلى سبيل المثال لنقلْ إن (M) هى آلة بناء داخل مصنع يركب آلات معقدة أخرى. فإذا ما غذينا (M) بتعليمات تركيب سيارة فإنها ستنتج سيارة، وإذا ما غذينا (M)بتعليمات تركيب مقعد فإنها ستنتج مقعداً. أما إذا غذينا (M) بتعليمات لتركيب نفسها (أى باستعمال التعليمات التى كانت استخدمت أصلا فى تركيبها هى) فإنها عندئذ ستقوم بذلك، وسينتهي الأمر ولدينا آلتان متماثلتان. قد تعتبر أن العمل قد آتى بذلك أكله، ولكن هب أنك تحتاج لاستعمال هذه الآلة فى موقع آخر من المصنع . فما لم تهيئ نسخة من التعليمات الخاصة بتركيب المقعد أو المائدة مثلا، أو بتركيب الآلة ذاتها، فلن يجدى ذلك نفعاً. ومن ثم فإنك تستعمل آلة تصوير مستندات لتحصل على نسخة من كتيب التعليمات وتبعث به مع الآلة.

إن عملية تغذية التعليمات (I) وعملية استنساخها ينبغى أن تحكمها آلية ما (C) وفى حالة المصنع من شأن آلية التحكم هذه أن تكون شخصا إدارياً يغذي الآلة بالتعليمات ويصور المستندات ويضمّن كتيب التعليمات مع كل نسخة جديدة تصنع من الآلة.

ستحلق الإدارة فوق القمر جذلا، ففى جعبتنا أن نزيد الإنتاج بكثافة بمجرد استنساخنا لآلة التركيب فى كل مكان بالمصنع، بل وفى كل المصانع التابعة للشركة. إذا كان لدينا ألف آلة تركيب فإن بمقدورنا إنتاج ألف مقعد (أو سيارة أو أى منتج مبتكر)، فى نفس الوقت، وكلما رغبنا فى زيادة كمية الإنتاج فلدينا دائماً الخيار فى أن نطلب من آلة التركيب أن تصنع من نفسها نسخة جديدة. ولتشغيل الآلة الجديدة فإننا

سنحتاج إلى آلية تحكم أخرى (إلا إذا أمكنك إقناع آلية التحكم السابقة بأن تشغل الآلتين آنيا) ولكن ... تمهل للحظة : هل تعلم آلية التحكم - كي تستنسخ نفسها - كيف تستعمل الآلة وتنتج نسخًا من التعليمات ؟ ربما لا، وعليها أن تتدرب على المهمتين. وربما حينئذ، وباعتبار هذه الآلة إذا أخذنا بأقصى درجات التعميم - آلة تركيب شاملة، فعلينا أيضا أن نبعث بالتعليمات عن كيفية تصنيع آلية التحكم وكيفية تصنيع ماكينة تصوير المستندات التى ستستخدمها آلية التحكم. ولو أمكننا إنجاز ذلك، فمعنى هذا أن الآلة - إذا ما زُوِّدت بالطاقة والمادة الكافيتين ستستطيع أن تستنسخ نفسها - بلا حدود - إذا ما طلب ذلك. لذا دعنا نوجز كيف يمكن أن تعمل تلك المنظومة من التركيب المتواصل :

- علينا أن نبدأ بالآتى: (١) آلة التركيب الشاملة (M) (٢) آلة نسخ المستندات X (٣) آلية التحكم (C) وكى نحول هذا إلى عملية استنساخ ذاتى كاملة، نحتاج إلى حزمة كاملة من التعليمات .. ليس فقط عن كيفية تركيب الآلة (M) ولكن كذلك تركيب آلية التحكم (C) وبالمثل آلة النسخ (X) التى تستعملها آلية التحكم . وهكذا فإن المجموعة المكونة من M، C، X مع التعليمات بكيفية تركيبها تكوّن كيانا مثاليا للاستنساخ الذاتى، ولنسمّ هذا الكيان (E).

تتناول آلية التحكم التعليمات عن كيفية تركيب (M) ، (C) ، (X) وتغذيها فى (M)، فتقوم الآلة (M) بتركيب نسخة مماثلة لنفسها (M') ولآلية التحكم (C) ولآلة الاستنساخ (X'). وتصنع آلية التحكم أيضا نسخة من التعليمات (I') بواسطة آلة التصوير (X)، فتصبح لدينا مجموعة متكاملة M'، C'، X'، I' مهيأة لإرسالها ككيان متكامل للاستنساخ الذاتى E'.

فلتلاحظ أننا تجنبنا الدائرة المفرغة التى قدمناها فيما سبق، فالكيان المتكامل الأول E يحتاج لأن يحتوى على تعليمات لتجميع كل كيان تالٍ حتى يواصل نشر الرسالة إلى الأبد.

وتقع الخطوة الحاسمة فى تركيب كيان يضم آلة التركيب الشاملة، وآلة التصوير وآلية التحكم، بالإضافة إلى التعليمات بكيفية تصنيع الآلات الثلاث . والعملية - تقليديا - متوافقة وصحيحة طبقا لقواعد منطق بول . وهذا كل ما فى مسألة فون نويمان.

ورغم أن منطق فون نويمان مصوغ داخل السياق الضيق لعملية الاستنساخ الذاتى، فهو يتحاشى بوضوح التسلسل اللانهائى الذى سبق أن ناقشناه. فهل باستطاعتنا إذن تطبيق ذلك لدى تناولنا لمشاكل مشابهة، مثل مسألة دويتش وهويلر "قانون دونما قانون"؟ هل يمكن أن ينبثق كل شيء فى الكون واقعيًا من العدمً بنفس الأسلوب؟ سنرفه عن أنفسنا بدراسة إمكانية ذلك فى الجزء الثالث من كتابنا .

ورغم عدم وجود عقبة منطقية تمنع الاستنساخ الذاتى الدائم فى مسألة فون نويمان فمازلنا فى مواجهة تحدٍ عملى ضخم، وهو - اسميا - أننا افترضنا كمال كل مرحلة فى هذه العملية.

ولكن ماذا لو وقع خطأ فى أية مرحلة ؟ ماذا يحدث يا ترى لو أن عملية الاستنساخ الذاتى تعرضت على نحو ما للارتباك (كأن تنسى آلية التحكم مثلا أن تستنسخ صفحة ما من التعليمات، أو أن ينفد المداد من آلة النسخ، أو أن تتعطل الآلة لأى سبب) ؟ ومن ثم فإن السؤال التالى هو ماذا سيلمّ بالنسخ التالية من الآلة M التى ستركَّب على أساس تعليمات خاطئة . يلوح أن الإجابة الواضحة هى أن العملية ينبغي أن تتوقف، فهى - ببساطة - لن تستطيع الاستمرار.

على أية حال، فهنا تأتي نظرة نويمان الثاقبة الثانية . فقد وضح أن ذلك لا ينطبق على حالتنا، وأنه حتى الأجزاء المعيبة يمكن أن تفضى إلى صمود عملية الاستنساخ الذاتى واستمرارها ويتحقق ذلك من خلال ضخ طاقة إضافية حيث تخلق عددا ضخمًا من نسخ الكيان الشامل E ، فبينما قد يصاب عدد من النسخ بعيب بحيث لا يتخطى اختبار الجودة فى آلية التحكم، فإن البقية سوف تجتازه وتنتشر فى الأجزاء الأخرى من الشركة.

ومما يستحق تسليط الضوء عليه، أن آلية التحكم لا تكون فى الواقع هى دوما القائمة بعملية ضبط الجودة، فمن الممكن أن تتولى هذه العملية عناصر خارجية (كالظروف البيئية مثلا).

وبوسعنا أن نرصد مثالا عمليا على ازدهار الأعمال فى إطار نموذج فون نويمان للاستنساخ الذاتى، ولنأخذ شركة مقاهى "ستاربكس Starbucks" كمثال على الشركات المتميزة . لقد افتتح أول مقر لستاربكس فى سياتل فى السبعينيات من القرن العشرين، فأحرزت بوضوح نجاحا كافيا – بمعيار مبيعاتها من القهوة، فكان التوسع هو الاتجاه المنطقى، وتمثل التحدى فى عمل نموذج طبق الأصل للنسخة الأصلية من ستاربكس التى أحرزت هذا النجاح . وقد تم هذا بمستوى خارق الذكاء من التفصيل، بحيث صار هناك الآن ١٦٠٠٠ فرع لستاربكس منتشرة فى ٣٠ دولة، تكاد تقارب الأصل، فعندما تشاهد مقهى لستاربكس فى بكين أو أثينا، تستولى عليك فكرة أن شكل قهوته ومذاقها يشبهان تلك الخاصة بستاربكس الواقع على الطريق بنيو جرسى.

وعلى النقيض، أغلقت بعض مقاهى ستاربكس أبوابها لأنها لم (تستنسخ) التعليمات بصورة صحيحة، فكانت تقدم قهوة لا تطابق نكهة الشراب الأصلى، أو لأن المظهر والإحساس لم ينجحا فى دغدغة ذكريات الزبائن وحثهم على إخراج نقودهم. وقد أغلقت فروع أخرى رغم كونها نسخا مطابقة للأصل، وبالنسبة لهذه الفئة الأخيرة كانت الظروف البيئية وراء إغلاقها (فمثلا كانت المناظر غير متوافقة مع منظر ستاربكس، أو فُضِّلت القهوة المجهزة منزليًا، أو حتى حدث توجه محلىّ عام بعيدا عن المقاهى). فقد أغلق ٦٠٠ فرع مثلا فى ٢٠٠٨ بفعل عوامل ظرفية من البيئة المحيطة كالركود الاقتصادى.

وهكذا فإن كمال الاستنساخ لا يعدّ وحده ضمانا للنجاح.

والمشاريع فائقة النجاح هى التى تستوعب ذلك، فتتمكن من تحليل المعلومات المستقاة من البيئة بصورة مستمرة، إما من خلال الإدارة الرشيدة أو المستشارين الخارجيين المهرة.

وتغذى هذه المعلومات تغذية عكسية إلى مجموعة التعليمات، بالإضافة إلى القدرة الداخلية على تطوير مجموعة التعليمات إلى الأحدث بصفة مستمرة. وخلافا للمنظومات

الحيوية يمكن لشركات الأعمال أن تعيد هيكلة نفسها، كي تعدل فى طاقم تعليماتها خلال مدد زمنية وجيزة للغاية. والسرعة التى يتم بها هذا تسمى بالحيوية أو خفة الحركة agility. وبهذا المعنى فإن الحيوية هى مفتاح بقاء شركات الأعمال.

أنشئت شركة هيوليت بكارد Hewlett Packard داخل مرأب ببالو آلتو عام ١٩٣٩ على يد اثنين من مهندسى الكهرباء هما ويليام ودافيد بكارد، اللذان ركزا فى البداية على تصنيع أجهزة الاختبار الإلكترونية كمقاييس التردد ودرجات الحرارة Oscilloscopes & thermometers. وفيما بعد، ومع انتشار الإلكترونيات انتقلا إلى تصنيع أجهزة أشباه الموصلات والحاسبات اليدوية . وفى أواخر عقد الستينيات رصدا بالسوق رواجا للحواسيب بالغة الصغر minicomputers فسرعان ما انخرطا فى تصنيعها. والشركة اليوم ذائعة الصيت كرائدة فى مجال الحواسيب الشخصية، والتصوير والنسخ والتخزين وبرامج الحواسيب. ومع تبدل أحوال الظروف المحيطة من حيث حجم الطلب بالسوق وحلول عصر المعلومات أمكن لهيوليت بكارد أن تبدل طواقم تعليماتها كى تركب موجه التحديث التكنولوجى.

لم يكن مقصد فون نويمان الأساسى - بطبيعة الحال - أن يفسر السبب فى نجاح شركات الأعمال ورجالها، أو أن يشرح كيفية الارتقاء بإنتاجية المصانع، وإنما أراد أن يُظهر إمكانية بناء روبوتات ذاتية الاستنساخ قد تستعمل فى استكشاف إمكانية الحياة على الكواكب الأخرى واستعمارها ولم يكن يعلم - إلا قليلاً - أن الكائنات الحية قد اكتشفت هذا قبله بنحو ثلاثة بلايين سنة .

كانت كأس البيولوجيا المقدسة [١] فى عقدى الثلاثينيات والأربعينيات هى رحلة البحث عن بنية الخلية البشرية، التى تحمل معلومات استنساخها والتى أجاد فون

(١) الكأس المقدسة Holy Gnail فى العقيدة المسيحية هى الكأس التى شرب منها السيد المسيح إبان العشاء الأخير، ثم راح المسيحيون يجدّون فى البحث عنها فيما بعد ثم صارت رمزًا لكل ما يتم البحث عنه بحثًا دوبًا. (المترجم)

نويمان التعبير عنها . كان يعتقد أن هذه البنية هى المسئولة عن لون شعر أطفالنا وعيونهم وأطوال قاماتهم، وأنها تحتوى على (دفتر المعلومات) الخاص بتشغيلنا نحن وكل (النسخ) التى سننجبها . وقد شارك أناس عديدون فى ذلك السباق من أجل الكشف عن هذه البنية، منهم جيمس واطسون، وفرانسيس كريك، وروزالند فرانكلين، وموريس ويلكنز، وإروين شرودنجر، ولينوس باولنج (وهؤلاء قلة من ضمن كثيرين). كان عهدا بالغ الإثارة والأهمية، فقد كنا على شفا كشف عظيم بالنسبة للبشرية ووجهة نظر نحو تفهم أفضل: من نحن ومن أين نجىء ؟

وفى خاتمة المطاف، قُدّر أن يحرز قصب السبق فى هذه المباراة طالب سابق لعلم الطيور وفيزيائى سابق. إذ اكتشف جيمس واطسون James Watson، وفرانسيس كريك Francis Crick. (بمعونة علماء نابهين أخر) أن الحامل الرئيسى لمجموعة التعليمات البيولوجية هى جزيئات حمضية مركبة من الحمض النووى الريبى منقوص الأكسجين تعرف اختصارا بالدنا (deoxyribonucleic acid) ويحتوى الدنا على التعليمات التى بموجبها تنتج نسخة مماثلة للكائن الحى الذى يحمله وفقا لمجموعة التعليمات (I) التى تغذى فى آلية التركيب الشاملة (M) وتحرص الطبيعة كل الحرص على صيانة هذه الجزيئات.

والأمر ليس مجرد جزىء دنا واحد يحتويه كل واحد منا، فالواقع أن كل خلية تقريبًا فى كل كائن حى تحتوى على دنا. بالإضافة إلى ذلك فإن كل جزىء من الدنا قادر بذاته على تخليق الكائن بأكمله (فى الظروف المحيطة الملائمة). وفى هذا المثال (الفائض) الذى تحدث عنه فون نويمان . وقد استحق واطسون وكريك / (ومعهما ويلكينز) بفضل ذلك جائزة نوبل عام ١٩٦٢ للفسيولوجيا والطب.

رأينا فى آلة التركيب الشاملة لدى نويمان أننا احتجنا لأربعة مكونات مختلفة : آلة التركيب الشاملة M، آلة التصوير X، وآلية التحكم (C)، وحزمة التعليمات (I)، ورباعتهم يكونون كيان الاستنساخ الذاتى المتكامل (E) ومقارنة لذلك بما يحدث فى الحياة يمكننا النظر إلى الخلية ذاتها ككيان متكامل للاستنساخ الذاتى، فبداخل الخلية أربعة مكونات تمكنها من عمل ذلك :

(١) آلة تصنيع البروتين M .

(٢) الآلة النانونية [١] البيولوجية (المناظرة لآلة التصوير) X.

(٣) الإنزيمات أو الخمائر التى تقوم بعمل آلية التحكم، حيث تقوم بتشغيل الآلة النانونية وإبطالها.

(٤) مجموعة معلومات الدنا (I).

وللإنصاف، ورغم أن هذه الصورة الإجمالية تبدو مقبولة، فما زالت هناك تفصيلات كثيرة . فعلى سبيل المثال، كيف تعمل الآلة القانونية، وهو الموضوع الذى ما زال محل التحري.

وهكذا نرى أن الدنا هو مفتاح العملية، فهو يتضمن برنامج العمل المفصل لكيفية عمل كل خلية واستنساخها. وعلى أساسه، تصنع آلة التركيب داخل خلايانا: الأحماض الأمينية التى تكوّن بدورها البروتينات المختلفة والخلايا الجديدة اللازمة لأبداننا. وبطبيعة الحال فإن استنساخ الخلايا عملية غاية فى التعقيد، إلا أنها فى نهاية الأمر تختصر فى جوهرها إلى الصورة التى رسمها فون نويمان. والخطوة المصيرية فى تخليق البروتينات الجديدة هى: كيف نستنسخ معلومات الدنا بأمانة من خلية إلى أخرى، ونحن ننظر هنا فقط إلى قدرة الخلية على حمل المعلومات، إذ إنها أكثر المعالم أساسية فى صمود الحياة، فكيف تجرى عملية (النسخ) بهذه الدقة؟ وماذا إذا نفد المداد أو الورق من آلة النسخ هذه، أو إذا وقع منها خطأ ما؟

إن صنع خيط جديد من الدنا يشبه عمل سحّاب (زمام منزلق) (Zipper) جديد باستخدام سحّاب قديم كنموذج، وإن كان السحّاب أبسط قليلا من خيط الدنا، فللسحاب نوع واحد من الأسنان، بخلاف الدنا ذي الأربع أسنان (حروف) A، G، T،C (هذه الأحرف تمثل أسماء أربعة جزيئات مختلفة تعرف بالقواعد : bases الأدنين، والجوانين والسيتوزين، والثيمين).

---

(١) النانو رياضيًا يساوى ١٠ مرفوعة للأس – ٩، أى واحدًا من المليار، فالآلة النانونية تعنى آلة بالغة الدقة والصغر. (المترجم)

والشيء الأول هو أن ناسخ الدنا – في أغلب الخلايا الحية – يحل أو يفك قسمًا من خيط الدنا القديم، ثم يعيد تخليق (سحّاب) كامل من كل الأقسام التى يتم تفكيكها بالعثور على الجزء المتكامل مع كل سن فى المحيط المجاور له. والقاعدة هى أن السنّ (A) لا تتوافق إلا مع السن (T) والسن (C) لا تتوافق إلا مع السن (G) والعكس بالعكس. ويعني هذا أنه كلما رصد الناسخ سنا من النوع (A) على خيط الدنا فإنه يدرك فى الحال أنها يجب أن تقرن مع سن من النوع (T). وحقيقة أن (C) تتوافق مع (G)، (A) تتوافق مع (T) تشبه ثنائية القفل ومفتاحه. فبعض المفاتيح إما كبيرة جدا أو صغيرة للغاية بالنسبة لبعض الأقفال، فى حين تتوافق مع أحدها بشكل كامل . ولأن هذه القواعد الأربعة تتوافق فى ثنائيات بعينها فقط،فما أن يتعرض خيط الدنا الذى تم تفكيكه إلى الوسيط المحيط (المحتوي عن الأسنان الحرة) حتى تتجول تلك الأسنان الحرة وتتناغم فى النسق السليم . فعلى سبيل المثال فالسن (A) من الوسط المحيط لن تتوافق عموما مع (C) أو (G). وهذه هى الطريقة التى تصنع بها نسخ من الدنا.

ومن الطريف بالمثل كيفية استخدام الطبيعة الفائض فى زيادة فرص إنتاج نسخ مخلقة بأمانة، فمجموعة من ثلاث قواعد مثل ATC تقترن بحمض أميني واحد. وحيث أن هناك أربع قواعد (A، C، T، G) فلدينا ٤×٤×٤=٦٤ توافقا محتملا للمجموعة المكونة من ثلاثة أحرف، ومن ثم فلدينا إمكانية تشفير ٦٤ حمضًا أمينيا بعينه. على أية حال، ومما يثير الدهشة فليس هناك إجمالاً سوى عشرين حمضا أمينيا (وهذه الأحماض الأمينية العشرون تشكل كل المادة الحية، بما فى ذلك أبداننا) وهو ما يعني – وياللعجب – أن هناك أكثر من مجموعة ثلاثية مقترنة بنفس الحامض الأمينى. فعلى سبيل المثال، المجموعات ATT، ATC، ATG تشفّر كلها فى الطبيعة الحمض الأمينى الإيزو ليسين. أو اللوسين المساوي) فى حين تشفر المجموعتان الثلاثيتان AGA، AGG كلتاهما الأرجينين.

والآن، ماذا وراء كل هذا التشفير المفرط ؟ إن الميزة الرئيسية فيه، كالسابق، المعاونة فى تقليل الخطأ عند استنساخ الدنا. وهكذا فإذا ما أخطأت عملية الاستنساخ

ووضعت المجموعة ATC بدلا من ATT (أى أن الحرف الأخير قد نسخ بالخطأ) فإن هذا حتى لن يلاحظ فى كيان النسخة الجديدة، حيث إن كلا الثلاثيتين ATT، ATC تشفّران ببساطة نفس البروتين الأيزوليسين. إن الطبيعة لا تترك للصدفة إلا القليل، ويالها من فكرة عبقرية!

والفائض من هذا النوع (أى التعاقبات المختلفة المتعددة من القواعد لتشفير نفس الحمض الأمينى) هى الطريقة القياسية فى تصحيح الخطأ . وهذا بكل تأكيد يصح فى الحواسيب والاتصالات الحديثة، بل - وللعجب - يصح كذلك فى المعارف الإنسانية.

ولنضرب مثالاً .. فها هنا جزء مقتطع من رسالة إلكترونية تلقيتها منذ سنتين: "وفقا لبحث فى جامعة كامبردج، لا يهم ترتيب الحروف فى الكلمة، وإنما الأمر المهم فقط هو أن يكون الحرفان الأول والأخير فى مكانهما الصحيح فى حين من الممكن أن تختلط بقية الأحرف وتظل قادرًا على قراءة الكلمات دون مشاكل، ذلك لأن الذهن البشرى لا يقرأ كل حرف بمفرده وإنما يقرأ الكلمة ككل"(١).

يوضح هذا المثال كيف أن هناك فسحة كبيرة من السماحية فى اللغة الإنجلزية كذلك، لا فى الشفرة الجينية فقط. (ولو لم يكن الأمر كذلك، لما استطاع طلبتي قط أن يقرأوا أغلب التعليقات التى أنقشها فوق تقاريرهم).

ولما كان الغرض من كتابي - شأنه شأن الشفرة الجينية -نقل بعض من المعلومات، فلعلك تتساءل أين الفائض فيه، لقد أحصيت الإجابة، مستخدمًا إنتروبيا شانون المذكورة بالباب الأول فوجدتها ٤,٧، وهو ما يعني أنه بدلا من أن أكتب رسالتى فى مائتى صفحة، ربما كان بوسعى أن ألخص كل ما أردت فى ٢٥ صفحة، وعلى أية حال فأنا أتوقع ألا يشكرنى القراء على ذلك (أم لعلهم يفعلون !).

---

(١) في الأصل المترجم عنه رودت الفقرة السابقة مليئة بالأخطاء الإملائية المتعمدة كى يدلل الكاتب على صحة ما ورد فيها. (المترجم)

لعلك تذكر أن واحدة من النقاط الجوهرية فى الباب الثالث كانت أهمية استخدام لغة شاملة مكونة من الأعداد الثنائية الأرقام متقطعة . فتلاحظ أن الطبيعة فيما يبدو قد اتبعت نفس الأسلوب من حيث تشفير المعلومات فى أرقام متقطعة، ولكن بدلا من أن تستخدم النظام ثنائى الأرقام كما فى منطق بول الذى شاهدناه سابقًا، تستخدم الطبيعة فى تشفيرها أربعة أحرف منفصلة، فلماذا ياترى تكلف الطبيعة نفسها ذلك العناء فى حين أن شانون بيّن أن حرفين فقط يكفيان لأداء كل ما هو مطلوب؟ إنه أحد الأسئلة المحورية فى علم الأحياء، وسنبسط فى الباب التاسع بعض التأملات المشوقة فى هذا الموضوع.

وهناك سؤال غاية فى الأهمية : لماذا فضلت الطبيعة نظام الأرقام المتقطعة مؤثرة إياه على النظام المتصل غير الرقمى للتشفير ؟ وبعبارة أخرى لماذا اختارت الطبيعة أربع قواعد بدلا من عدد لا نهائى من القواعد تتسلسل فى نسق متصل ؟ ما من برهان رياضى صحيح ١٠٠ ٪ لا يتطرق إليه أدنى شك، غير أن لدينا فكرة نطرحها عن أفضلية التشفير الرقمى ذي الأرقام المنفصلة على أية صيغة متصلة، فهناك علتان ترجحان كفة التشفير الرقمى : أولاهما التكاليف المنخفضة للطاقة اللازمة لمعالجة المعلومات، والثانية هى الاستقرار الأكثر لعملية المعالجة . ولنفحص كلا من العلتين.

فلنعتبر أولا كمية الطاقة المبذولة فى معالجة المعلومات . فإذا ما بدأنا بعشر شذرات (أى ١٠ منظومات فى كل منهما حالتان : الصفر والواحد) وتخيلنا أننا نتكلف كمية من الطاقة مقدارها الوحدة كى نقلب شذرة واحدة – وهذه هى أكثر عمليات معالجة المعلومات بدائية بوسعنا تخيلها – فإن قلب عشر شذرات يكلفنا عشر وحدات من وحدة الطاقة التى افترضناها . ولكى تؤدى عملية مماثلة فى أية ظروف مشابهة فى النظام المتصل سيكون علينا إنفاق طاقة أكثر بكثير . ففى مثل هذا الوسط التماثلى سنحتاج إلى ١٠٢٤ حالة مختلفة (أى ٢ مرفوعة للأس ١٠) لتمثيل ١٠ شذرات،

وهو ملمح ملازم لكل النظم التماثلية . ولكي تحدس ببصيرتك لماذا يكون الأمر كذلك، فكر فى أن هناك ١٠٢٤ وحدة طاقة بين أعلى وأدنى حالة طاقة مع التشفير التماثلى بدلا من العشر حالات من التشفير الرقمى، وهذا الإنفاق الهائل من الطاقة نتيجة لحقيقة أن التشفير التماثلى (أى المتصل) - بحكم تعريفه يجب معالجته برمته (وليس شذرة شذرة).

والميزة الثانية فى وضع الطبيعة للمعلومات فى الدنا فى صورة أرقام منفصلة هى الاستقرار . ففى التشفير المتصل - وأيضا بحكم تعريفه - تزيد بكثير الصعوبة فى رصد الخطأ لأن التشفير المتصل ذو طبيعة مستمرة، ويصعب بالتالي تمييز الحالات المختلفة بعكس التشفير المتقطع . لذلك فحتى لو أن الحياة بدأت - منذ ثلاثة بلايين سنة - تشفير رسالتها بخليط من التشفيرين المتصل والمتقطع فيمكن أن تدرك لماذا هو اليوم بأكمله فى صورة متقطعة، فالنفقة الباهظة فى الطاقة والقابلية الأعلى للخطأ مع التشفير المتصل يعنيان أن التشفير المتقطع كان دوما هو اختيار الطبيعة المفضل.

ولكن ليست الطبيعة فقط هى التى تختار طريق التشفير المتقطع . فكل التقنية الحديثة مبنية على القواعد الرقمية، ونتيجة ذلك، حصانة أعلى بمراحل ضد الأخطاء. ومعظم الأخطاء الآن تعود إلى الإنسان أو إلى المرحلة الوسطى بين الإنسان والآلة. وما يمكن الاعتماد عليه هو معالجة المعلومات من وراء الكواليس، وهى متوارية عميقًا داخل الوحدات الشغالة فى كل شريحة ميكرونية microchip. والرسالة من كل هذا جدّ واضحة : عندما يصل الأمر إلى معالجة البيانات يجب أن تلزم جانب الحكمة وتستعمل التشفير المتقطع.

ورغم العناية والحذق اللذين أظهرتهما الطبيعة فى إنتاج نسخ مثالية من مجموعة التعليمات (ا)، فمازالت بعض الأخطاء تتسرب دون أن تصحح، وتسمى تلك الأخطاء، بالتحولات أو التبدلات mutations. ويصل متوسط معدل الخطأ فى استنساخ الدنا نحو الواحد فى المليون. وربما لا تبدو النسبة عالية، ولكن خذ فى الحسبان أن معدل خطأ مقداره ١٠ فى المليون قد يعني على المدى الطويل أن الطفل القادم سيولد شمبانزى. وتنحو معظم التحورات إلى أن تكون هدامة، من حيث إضعافها من مدة بقاء الكائن

الحي وبنيته. على أية حال فقد تفضي بعض التحورات إلى شكل جديد راق، أكثر تواؤما مع ظروف بيئتها، وهذا هو أساس عملية التطور المعروفة بالانتخاب الطبيعي.

ولتتذكر أن أحد الاعتراضات الأساسية على أية عملية تكاثر مستقرة هو أن التعقد في النسخ التالية لابد وأن يتناقص. ونحن نعلم الآن أن ذلك ليس صحيحًا ونعرف السبب. فالتعقد كنمط عام يزداد في المتوسط. والمكون المحوري في الزيادة هو عملية الانتخاب الطبيعي، والمعروف أن الذي اهتدى إليها تشارلز داروين. والانتخاب الطبيعي هو العملية التي تربطك بظروف بيئتك، لأن السمات التي تستديم هي الأكثر تواؤما مع البيئة، فكمثال لو أن العالم بأسره قد غمره الماء فمن الطبيعي أن الكائنات القادرة على التنفس تحت الماء هي التي سيكتب لها البقاء. وعلاوة على ذلك فأيا كان ما يحدث في أعقاب مثل هذا الفيضان، فإن السلالة الجينية التي ستنتشر ستكون مبنية من دنا هذه الكائنات الباقية.

وإذا عكسنا الأمر، فقد يُنظر إلى الدنا الخاص بك كسجل تاريخي للتغيرات في الظروف البيئية التي عاصرها أسلافك (يصفها داوكينز بالسجل الجيني للموتى). وحيث إن التاريخ زاخر بالتغيرات البيئية بدرجة أو بأخرى، فواضح أن أي دنا ينتشر سوف يزداد تعقدا لا محالة (فهو يحتوي معلومات أكثر فأكثر عن التغيرات البيئية).

لاحظ أن هذه العملية لا تتفعَّل إلا مع الجزافية، لأن التغيرات الجزافية في الدنا الخاص بنا هي التي تجلب التنوع الذي يقوم عليه الانتخاب الطبيعي، الذي يصطفي التحورات التي تفضي إلى كائنات أكثر ملاءمة لبيئتها . وسنرى – كاتجاه عام – أن المعلومات ذات المغزى تظهر بالضرورة كتأثير متبادل بين الأحداث العشوائية والاختيار الحتمي، وكلاهما – في حد ذاته – كافٍ .

أما وقد تيقّنا من فهمنا لجوهر المعلومات البيولوجية، بمعيار قدرتها على الصمود، فلعل من المفيد أن نستعمل معرفتنا تلك في تصحيح الأخطاء الجينية بأنفسنا، ومن شأن هذا – على المدى الطويل – أن يستأصل ضروب الإعاقة الكلية، والأمراض، وربما يحسن من مستوى حياتنا العام. وهذه المنطقة من البحوث التي تعرف بالهندسية الوراثية هي مدار المناظرات الحامية والخلافية أحيانا التي تجرى حاليًا.

وتكمن المصاعب فى تغيير الجينات اصطناعيًا فى ندرة وجود تناظر بين آحاد الجينات وسمات الفرد، فما من جينات بعينها تحدد لون أعيننا، ونفس الحزمة من الجينات هى التى تحدد بالمثل بعضا من قسماتنا مثل طول القامة، وبنية الجسم، الخ ... لذا فإذا أردت أن تعدل – عن طريق الجينات – لون عينى مولودك، فربما ستؤثر – بتغييرك الجين المسئول عن ذلك – على ملامح مولودك الأخرى.

وإلى أن نلمّ إلماما كافيا بهذه العلاقات الجينية المتداخلة سيظل من العسير الإفادة من الهندسة الوراثية بصفة ممنهجة فى أى غرض إيجابى. وليس من الواضح لدينا إلى أى مدى سيسعنا فهم تلك العلاقات البينية، كى نتيقن من أن كل تغييراتنا ستؤدي دوما لمنفعة ما. ونحن نأمل أن نبلغ ذلك ذات يوم رغم أن الطبيعة قد لا تعُنى مثقال ذرة بتفاؤلنا هذا. وأنا لا أرى شخصيًا فى هذا مأزقا أخلاقيا جديًا بعد، ببساطة لأننا لا نملك ما يكفي من المعلومات حتى نؤثر – بطريقة مترابطة – على الخصائص الجينية الدقيقة للبشر بما يكفل لنا النجاح . وعلى أية حال فالهندسة الوراثية تستقطب الآراء بين العلماء وغير العلماء (بل وفيما بين العلماء كما لم يحدث فى أية قضية أخرى).

وختاما لقصة الدنا كلها، أود أن أقول إن فيزيائيًا نمساويًا آخر تفوق تقريبًا على واطسون وكريك، وهو إروين شرودينجر Erwrin Schrodinger. كان شرودينجر أحد رواد ميكانيكا الكم (وسيعود لملاقاتنا فى الباب التاسع) . وبعد أن أحدث ثورة فى عالم الفيزياء ولّى اهتمامه شطر علم الأحياء، وحتى فى هذا المجال لم يكن شرودنجر بالهمل أو النكرة، بل إنه استخلص الآلية المضبوطة الخاصة "بتوالد" المعلومات قبل واطسون وكريك بنحو عشرة أعوام. ووصفه لقواعد المعلومات صحيح فى كل تفاصيله، وذلك بعيدا عن معتقد شرودينجر بأن مفتاح الشفرة فى عملية الاستنساخ لابد وأن يكون فى شكل بللورى (حيث أن للبللورات كيانًا مستقرًا ودوريًا، بل ويبدو مثاليا لحمل المعلومات ومعالجتها). ولقد برهن واطسون وكريك فيما بعد، على أن ذلك المشفّر ليس بللورة ولكنه فى الواقع حامض الدنا وقد اتضح أن هذه القصة لم تتم بعد فصولا، فلعل جزءًا

من عملية التشفير يقوم بها كيان ما شبيه بالبللورة، ويحمل هو نفسه بعض المعلومات الإضافية، وبعبارة أخرى ربما يحمل المعلومات شيء آخر غير الدنا ، أي أن الدنا لا يحمل كل المعلومات البيولوجية الضرورية للتوالد الحيوى . ونحن نعلم هذا لأن محتوى الدنا المناظر فى البكتريا والضفادع والبشر وكل الكائنات الحية هو بالتقريب نفسه. فعلى وجه التقريب (والتقريب فقط)، يكفي ٢٠٠٠٠ جين لتخليق أى كائن حى. على أن الإنسان – كما هو جليّ – أكثر تعقيدا من البكتريا، ومن ثم فلا يقتصر الأمر على الدنا. لعل شرودينجر على صواب بصفة جزئية، غير أن هناك بالمثل كثيراً من النظريات التى تتنافس لمعرفة أين يكمن هذا الفرق.

وعلى القمة من كل ذلك يأتي السؤال: من أين يأتي الدنا نفسه. هل هناك بنية أبسط تطور الدنا منها؟ إذا مارجعنا إلى أعمال شرودينجر عن تشفير الحياة البيولوجية فى بللورات، نجد أن البللورات أبسط بكثير فى بنيتها من الدنا، وهى تنمو فى الطبيعة فى ذاتية أكثر. لذا فربما – فى توافق مع عدد من النظريات الأخرى – تمثل البللورات وجهة نظر متبصرة فى تطور الدنا نفسه. وإذا سلمنا بأن بوسع البللورات أن تتخلق وتتوالد ذاتيا، فسيظل أمامنا السؤال عن كيفية انتقال المعلومات الضرورية لتكاثر الحياة من البللورات إلى الدنا . وليست هذه الفكرة بالجديدة، بل لقد طرحها ألكسندر جراهام كارنسميث Alexander Graham Cairns Smith. منذ نحو ٤٠ سنة، وما زال النقاش من حولها حامى الوطيس كمدار للبحوث البيولوجية.

وبرغم ما فى كل هذه الأسئلة من طرافة، فلا يعنينا هنا الحل المضبوط لها. فما يهمنا وما سيبقى بالتأكيد بعد التقدم المستقبلى فى علم الأحياء، هو أن معتقد المعلومات متجذر فى الحياة وأن صمود الحياة سيظل معتمداً على تقديرنا له حق قدره.

وكما رأينا فى الباب الافتتاحى عن (الخلق من العدم) فإن السؤال المحورى هو : لماذا كانت هناك أية معلومات فى المقام الأول ؟ لقد رأينا أننا – لاستنساخ الحياة –

قد احتجنا إلى أربعة مكونات رئيسية : آلة تصنيع البروتين (M)، وآلة نسخ الدنا (X)، والإنزيمات التى تقوم بدور آلية التحكم (٢) وحزمة معلومات الدنا (I). وما من شك فى أن الأمر يبدو معقداً، فكيف بدأ هذا التعقد من لا شىء .. من العدم ؟

هل بمقدرونا أن نقلب مسألة " المعلومات البيولوجية من لا معلومات، لعلنا نجعل لها مغزى أعمق قليلا؟ هل هناك قاعدة بشرية في العلم تجيب عن سؤل: "لماذا يبدو الكون كما هو عليه"؟ والرد عليه هو: "لو لم يكن كذلك، لما كنا نحن هنا لنرصده" لكن هذه لا تبدو إجابة البتة وسنعود لمقارعة هذا الموضوع فى الأبواب الأخيرة.

النقاط المحورية فى الباب الرابع:

- يحتاج أى كيان يتوالد ذاتيا للمكونات التالية : آلة تركيب شاملة M، وآلية تحكم C وآلة استنساخ X، وحزمة من التعليمات تلزم لتركيب الثلاثة I. بهذه الأجزاء يمكن تخليق كيان قادر على الاستنساخ الذاتى بصورة غير قاطعة.
- هناك جزىء عيانى (ماكرو سكوبى)، مسئول عن تخزين المعلومات (I) فى المنظومات الحية يسمى الدنا . وللدنا أربع قواعد يرمز لها بالحروف A، C، T، G وعندما يستنسخ الدنا بداخل خلايانا، يكون لكل قاعدة قرين محدد بعينه.
- هناك فائض هائل فى كيفية توافق القواعد لتكوين سلسلة الأحماض الأمينية وهو ضرب من تصحيح الخطأ.
- تضمن آلية التشفير الرقمى المتقطع للدنا، انتشار الرسالة بمستوى عال من الأداء.
- التحور العشوائى الذى يساعد عليه الانتخاب الطبيعى يؤدي بالضرورة إلى زيادة تعقد الحياة.
- عملية تخليق المعلومات البيولوجية من غير أن تكون هناك معلومات سابقة لها، هى مثال آخر على مسألة "الخلق من العدم" . ولا يخبرنا الانتخاب الطبيعى من أين تأتى المعلومات البيولوجية، ولكنه - فحسب - يعطينا إطاراً عامًا عن كيفية انتشارها .

(٥)

قانون مورفي[1] "كنت أعلم أن من شأن ذلك أن يقع لى"

تبدو الحياة الآن من المتانة بحيث يصعب تصور أنها ستنتهي يوما. ترى، هل نحن الآن سادة مصائرنا؟ ومع متانة معلوماتنا البيولوجية، مقرونةً بالهندسة الجينية المستحدثة، هل بمقدورنا أن نتأقلم مع أية ظروف بيئية تجلبها الطبيعة؟ وبصرف النظر عن الظروف القهرية (التى لايُحتمل معها أى تهاون)، هل تطرأ ظروف ما قد تؤدى إلى انتهاء الحياة ؟

إن واحدة من أهم المناقشات المطروحة فى الوقت الراهن وأطرفها هى : هل يمكن أن تنفد طاقة الحياة فى أداء وظائفها؟ وكيف يتأتى أن تُستنفد طاقة الحياة، وماذا عساه يعني هذا ؟ هل نتحدث عن فناء الشمس أم نفاد مواردنا الطبيعية ؟ والمسألة هى: أيا كان الأسلوب الذى تتطور به الحياة مستقبلا، فمن الصعوبة بمكان أن نتصور كيف ستمضي دون وقودها الأساسى.

ولو أن الشمس بادت، لألفينا أنفسنا "فى خبر كان". على أية حال فهذا الافتراض ـ من وجهة نظرى ـ باطل تماما، ففى نهاية كل يوم، وبصرف النظر عما يجري فى الكون، يظل مقدار الطاقة الكلية محفوظا عند مستواه دوما، ويبقى فقط مدى قدرتنا على استغلال هذه الطاقة محلا للتساؤل. وبغض النظر عن فناء الشمس أو نفاد مواردنا الطبيعية،

(١) قانون مورفى : مجموعة من الأمثال الشعبية المنتشرة فى الثقافة الغربية معظمها كوميدية أو خيالية. (المترجم)

فسيظل نفس مقدار الطاقة موجودا بالكون، وسيكون التحدى حينذاك العثور على الأساليب المختلفة لتسخيرها لمنفعتنا.

وقضيتي فى هذا الباب، هو أن الحياة لن تنتهى - جدلا - إذا شح الوقود، وإنما - وبصورة أكثر أساسية - إذا ما أغرقتنا المعلومات (أى حينما نصل إلى نقطة تشبّع لانقوى بعدها على معالجة أية معلومات إضافية). قد تعرض لنا جميعا لحظات نحسّ فيها بعجزنا عن تلقي أية معلومات جديدة. والسؤال هو : هل من شأن ذلك أن يهلكنا ؟

ماذا ياترى يريده المرء منقوشا على شاهد قبره بعد موته ؟ ليس لدى الناس عادة رغبة قوية فى أن ينقشوا لأنفسهم أية عبارات فخمة أو ذات معنى، بيد أن ذويهم والمقربين منهم من أفراد العائلة والأصدقاء والأقارب يختارون كتابة مايحيي ذكرى فقيدهم. والنقوش على شواهد القبور - فى الكثرة الغالبة - تحوي وصفا موجزا للشخص، ومتى عاش، وعبارات تشير إلى مدى الفجيعة لفقدانه. وهكذا يبدو أن المقابر قد خصصت - فى المآل الأخير- للأحياء .. لا للموتى.

لعل الدفين يفكر بطريقة مشابهة، ويشعر بضرورة الخروج من هذا المزاج المقبض لدى هؤلاء الأحياء ممن جاءوا ليزجوا له التحية . فإذا جلبوا الزهور لمقبرته، فيمكنه - على أقل تقدير رد الجميل بأن يسرّى عنهم بشاهد قبر مبتكر. ربما يغريه إذن أن يكتب شيئا لماحاً مضحكا كيما يرفه عن الحشد الذى يتحلق حول مثوى راحته الأخير. لقد وصف كاتب المسرحيات الإنجليزى[1] جورج برنارد شو ذلك المشهد، ومن ثم فإن شاهد قبره يحمل هذا النقش "كنت أعلم أن هذا مقدّر أن يحدث لى".

إن هذا اليقين لدى شو بحتمية الموت تعيد الفيزياء إخبارنا به من خلال قانونها الثاني للديناميكا الحرارية. وأقر أنا بأن القانون الثاني لايتمتع بخفة ظل شو، إلا أنه يقدم هذه العقيدة فى أسلوب أكثر أصالة ورحابة فى قابليته للتطبيق.

(١) هكذا في الأصل، في حين أن برناردشو لم يكن إنجليزياً بل كان أيرلنديا. (المترجم)

يخبرنا قانون الديناميكا الحرارية الثانى - أن منظومة ما(تموت) بالمصطلح الفيزيائى - عندما يصل شواشها إلى مداه الأقصى (أى عندما تمتلئ من المعلومات بقدر ماتستطيع التعامل معه) وأحيانا مايشار إلى هذا - فى إيماءة ساخرة - (بالموت الحرارى)، والأقرب للصواب تسميته (بالتحميل المفرط بالمعلومات). و تحدث هذه الحالة من الحد الأقصى من التشوش حين تصير الحياة بالفعل جزءًا من بقية الكون عديم الحياة، فلا يعود للحياة أية قدرة على التطور، وتبقى بصورة كاملة، تحت رحمة ظروف البيئة.

ولايخبرنا قانون الديناميكا الحرارية فقط بأن المنظومة تموت بوصول تشوشها إلى حده الأقصى، ولكنه - ويا للرعب - يخبرنا أيضا بان كل منظومة فيزيائية مقدور عليها أن تنحو صوب تشوشها الأعظم. وبما أن الحياة مجرد منظومة فيزيائية أخرى معقدة، فماذا يخبرنا عنها القانون الثانى؟

إنه يخبرنا أنه حتى الحياة - وهى إحدى أكثر العمليات متانة فى الكون، لابد وأن تنتهى فى المآل الأخير، وأن فناءها فى خاتمة المطاف حتم مقضى.

والسؤال الآن : إلى أى مدى نحن متيقنون من صحة القانون الثانى ؟ تخبرنا الحياة أن بوسعها الديمومة إلى الأبد، بينما يخبرنا القانون الثاني بأن كل منظومة فيزيائية مآلها الأخير هو (الموت الحرارى)، فأيهما الصادق يا ترى وهما يقفان متعارضين، وجها لوجه ؟

للإجابة على هذا السؤال، يصح أن نلقى المزيد من الضوء على قانون الديناميكا الحرارية الثاني، وهو أحد أهم القوانين الأساسية فى العلم . والعلماء فى الواقع يثقون فى ركائز القانون الثانى لأقصى درجة، وهو مادعا برتراند راسل الفيلسوف الإنجليزى المرموق إلى أن يقول عنه:

"الإنسان هو نتاج لعلل لاتدري هى نفسها بالمصير الذى تسير إليه، فمأتاه، ونماؤه، أحلامه ومخاوفه، قصص حبه ومعتقداته، إن هى إلا محصلة ارتطامات جزافية لذرات . وما من نيران أو بطولة أو تلال من الأفكار والأحاسيس بمقدورها أن تجنب حياة واحدة المسير فى الطريق إلى المقبرة.

إن كل كدح البشر عبر العصور، كل تهجدهم وكل تطلعاتهم، وكل عبقريات الإنسان التي تبرق كوضح النهار، مقدر لها العفاء، مع فناء المنظومة الشمسية الرحبة. إن ذلك الصرح من إنجازات البشرية لابد وأن يُطمر بأكمله تحت ركام كون مآله للتشظيّ. وكل هذه الأشياء، إن لم تكن خارج نطاق الجدل واقعة يقينا عن قريب، وما من فلسفة تنبذها تأمل في الصمود والبقاء. فقط من فوق منصة هذه الحقائق، فقط على الأسس الراسخة من اليأس العنيد، يمكن للروح أن تلوذ بمأوى آمن".

ومايقوله راسل (في نفثة واحدة، وفي فقرة تحتوي على جملة تحتل عدة أسطر) هو أن تزايد التشوش جدّ حتمي، بحيث يحسن بنا أن نوطن أنفسنا على الاعتياد عليه بأسرع مانستطيع، وما من فيلسوف جاد يسعه أن يتجاهل ذلك. وأي معتقد نعتنقه ويتعارض مع القانون الثاني ليس ثمة كبير احتمال في أن تثبت صحته. إننا نخادع أنفسنا حقيقة إذا اعتقدنا أن في مكنتنا أن نفلت من قبضته الفولاذية.

وإذا كنت تعتقد - والشيء بالشيء يذكر - أن مقولة راسل تبعث قليلا على الاكتئاب، فعليك أن تقرأ للفيلسوف الألماني فرديدريك نيتشه، الذي أرسى جماع فلسفته حقيقةً على أساس الأطروحة القائلة بأن الفيزيائيات تتطلب في المآل الأخير خواء الحياة، التي ستؤول حتما إلى الانقراض، ويعني هذا أن تغدو فكرة الارتقاء المطّرد (أي الارتقاء حتى ذروة الكمال)، أضغاث أحلام، وهو مايتعارض على خط مستقيم مع فكرة ترسخ الحياة وتطورها . اعتقد نيتشه أن الحياة في ظل هذا الاستنتاج جدّ عسيرة، بحيث احتاج إلى إدخال مفهوم "الإنسان الخارق"، ذلك البديل المحسّن من الإنسان، القادر على التصالح مع حقيقة أن الحياة غير قادرة على تحقيق الرقيّ المطلق . ومما يؤسف له أن نيتشه نفسه لم يوفق في الوصول إلى السمات المفضية إلى الإنسان الفائق"، بل لقد أمضى آخر ١١ سنة من عمره في مستشفى للأمراض العقلية، عاجزا عن التعامل مع الحياة، متحررا من الوهم، وحيدا. ويا لها من خاتمة محزنة لأحد أعظم مفكري التاريخ.

ومهما يكن الأمر، فالعلماء كائنات متحذلقة، ففي حين تثقل موازين عبارات راسل ونيتشه وتبدو منطقية من منظور فلسفي، يسعى العلماء إلى برهان كميّ للقانون الثاني، فنحن لانستطيع أن نختبر شيئا لنقطع بصحته أو زيفه إلا إذا أمكننا صياغته رياضيا والتعبير عنه في مقادير.

ولكن كيف يتأتى وصف القانون الثاني رياضيا؟ تقدم لنا الفيزياء صيغة رياضية له مبنية على مقدار يعُرف "بالإنتروبيا"، وهو المقدار الذى أشار له فون نويمان عندما اقترح على شانون أن يسمى به دالة المعلومات (انظر الباب الثالث). والإنتروبيا هى مقدار يقيس مقدار التشوش (أو الفوضى) فى المنظومة، ويمكن تطبيقها فى أى موقف تعنّ فيه احتمالات متعددة. وتقدم الفيزياء صيغة رياضية للإنتروبيا بالنظر إلى كل الحالات التى يمكن أن تتخذها المنظومة. ولكل من هذه الحالات احتمالية حدوث معينة يُستدل عليها من التجارب أو من بعض قواعد أخرى . وبحساب لوغاريتمات هذه الاحتمالات، تكون إنتروبيا المنظومة الكلية دالة مباشرة لها تدل على درجة التشوش فيها من العلاقة:

$$S = k \log w$$

وباستخدام مفهوم الإنتروبيا يعيد الفيزيائيون صياغة القانون الثانى فى قالب قاعدة مؤداها أن إنتروبيا أى منظومة مغلقة تتزايد دوما. وهذه القاعدة واحدة من أهم القوانين الأساسية فى العلم التى امتد تأثيرها العميق والفاعل عمليا إلى كل شىء فى الكون. وفى واقع الأمر يمكنك التفكير حتى فى الكون نفسه كمنظومة مغلقة، ويخبرنا القانون الثانى - والحالة هذه - أن الإنتروبيا تتزايد بالكون باطّراد أى أن التشوش آخذ فى التعاظم على نحو دائم.

ومما يبعث على الدهشة أن مفهوم الإنتروبيا الذى استقاه الفيزيائيون له نفس شكل الإنتروبيا النظرية - المعلوماتية التى اشتقها شانون. وقد اشتق شانون للإنتروبيا معنى نقل كمية المعلومات التى يمكن لأية قناة اتصال حملها، وبنفس المعنى باستطاعتنا النظر إلى مفهوم العلماء للإنتروبيا كتحويل للمعلومات المحتواه فى أى منظومة مغلقة إلى مقدار كمى، فيقول القانون الثانى ببساطة إن المنظومة تتطور نحو حالة من

وصول المعلومات لكميتها القصوى، حيث لايمكنها استقبال أى مزيد من المعلومات، وسيكون هذا المفهوم لنا نحن مستخدمي شبكة المعلومات مألوفا للغاية، فحينما نكون على مقربة من عرض النطاق الترددى bandwidth[1] لوصلة شبكة المعلومات يتباطأ المتصفّح، وبصورة درامية أحيانا . وهذا فى الواقع هو التحميل المفرط للمعلومات مما شرحناه آنفا فى هذا الباب.

وعندما سئلت عن رأيي فى استطلاع أجرته المجلة العلمية الشهيرة سبايكد spiked[2] عن أعظم اكتشافات الفيزياء، أجبت من فوري بأنه معادلة بولتزمان : $s = k \log w$.

فهذه المعادلة المنسوبة إلى أحد مؤسسي الفيزيائيات الحديثة لودفيج بولتزمان، تزودنا بالصلة بين فهمنا المجهرى (الميكروسكوبى) وفهمنا العيانى (الماكروسكوبى) للعالم. فالرمز s هو إنتروبيا المنظومة التى تدل على مدى تشوشها (أو درجة فوضويتها)، وهذا هو ملمحها العياني. وترمز w إلى عدد حالاتها المجهرية المختلفة. أما k فهو ثابت اشتقه بولتزمان يربط بينهما، وإنها معادلة بولتزمان التى ترينا كيف يمكن - من ناحية المبدأ على الأقل - اختزال كل معارفنا العيانية إلى بضعة قوانين فيزيائية مجهرية أساسية، وهو منحى فلسفى كثيرا ما يوصف بالاختزالية[3].

ومن الجلى أن عائلة بولتزمان جال بفكرها ماجال بفكره، فقد كانت هذه المعادلة البسيطة هى النقش الذى نُقش على شاهد قبره . لقد اكتشف بولتزمان معادلته عام ١٨٧٠ عندما كان فى حدود الثلاثين، وتطرق إلى أن الإنتروبيا ستتنامى باطراد مع مرور الزمن، حتى تصل لمداها الأقصى، وهى بالضبط طريقة أخرى لصياغة قانون الديناميكا الحرارية الثانى . وفى ذلك الوقت اشتعلت المناقشات حول بولتزمان، وجابه اعتراضات شرسة عليه وعلى العديد من أفكاره الأخرى من قبل أقرب المقربين إليه من زملائه.

---

(١) عرض النطاق الترددى : هو السعة فى نقل البيانات عبر قناة اتصال وتقاس بالبايت لكل وحدة زمن. (المترجم)

(٢) spiked مجلة إنترنت بريطانية تركز على السياسة والثقافة والمجتمع من منظور إنسانى ليبرالى. (المترجم)

(٣) الاختزالية Reductionism : هى الميل إلى تفسير الظواهر أو البنى المعقدة بمبادئ أبسط نسبيًا والتأكيد على أن العمليات الحيوية أو العقلية نتيجة القوانين الفيزيائية والكيميائية. (المترجم)

وقد عانى بولتزمان ـ شأنه شأن مفكّري زماننا العظام ـ من نهاية معقدة تخرج عن المألوف . وما من شك فى أن ضغوط الهيئات العلمية السائدة عليه كانت أحد العوامل التى دفعته إلى الانتحار . ومن الطريف ـ ولعله ليس من قبيل المصادفة ـ أن نيتشه وبولتزمان ليسا الوحيدين بين الناس اللذين ابتليا بمصير مأساوى بعد إمعانهما الفكر فى تداعيات القانون الثانى، فهناك أيضا بول إيرنفيست Paul Ehrenfest الذى انتحر، وروبرت ماير Robert Mayer الذى اختل عقله . ومن ثم فربما يجدر بى التوقف هنا إبراءً للذمة ... فإذا رغب القارئ فى المضىّ فى القراءة عن القانون الثانى، فليقم بتلك المخاطرة على مسئوليته الخاصة، دون أن أتحمل أنا أية تبعات.

لم يقتصر الاختلاف بين "بولتزمان" و "شو" على شاهد القبر، فبدلا من أن يقول ـ كما قال الأخير "كنت أعلم أن هذا سيحدث لى"، يقول بولتزمان "كنت أعلم أن الإنتروبيا خاصتي ستبلغ مداها إن عاجلا أو آجلا". وأنا أقرّ بأن الفيزيائيين ليسوا فى لماحية كتاب المسرحيات، وإنما قد يكونون ـ من ناحية أخرى نوي بصيرة أكثر نفاذا تجاه السلوك الكونى.

ومن النقاط ذات الأهمية البالغة ألا نخلط بين القانون الثاني للديناميكا الحرارية وبين مبدأ حفظ الطاقة الذى يعرف فى الحقيقة بالقانون الأول للديناميكا الحرارية، والذى ينصّ على أن الطاقة لاتستحدث من عدم، وإنما يمكن فقط تحويلها من صورة إلى أخرى، كتحول الطاقة الكهربية إلى صورة وصوت فى جهاز التليفزيون.

والقانون الأول هو الأمتّ صلة حين نتحدث عن المسائل البيئية المختلفة، فلدى كوكبنا مصادر محدودة من الطاقة المختزنة، مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعى، نستخدمها لاستخراج الشغل النافع، لإنتاج اللدائن مثلا أو قيادة سياراتنا أو تجهيز غذائنا . ويشيع قلق عام من محدودية هذه المصادر ونفادها المحتوم قريبا والذى قد يدفعنا للرحيل إلى كوكب آخر ذي موارد لم تُستغل بعد . ولكن فلنتريث للحظة. لماذا يتعين علينا الرحيل مادام مبدأ حفظ الطاقة قائما ؟ هى بالتأكيد فقط تتحول من صورة لأخرى، وماعلينا إلا أن نعيدها إلى صورة نافعة منها، ومن ثم تستمر الدورة.

ها هنا يتدخل القانون الثانى للإجابة، لكنه يحمل لنا أنباءً غير طيبة، إذ يخبرنا القانون الثانى أننا حينما نحول الطاقة من صورة إلى أخرى فليس بمقدورنا القيام بذلك بكفاءة مثالية، إذ أن الإنتروبيا، وهى درجة التشوش فى العملية لابد وأن تزداد، فعند إحراقك للغاز كى تشغل سيارتك مثلا، لاتتحول كامل الطاقة صافيةً إلى حركة السيارة، وإنما يتسرب جزء منها فى صورة أقل نفعا كالحرارة والضجيج . وبالمثل، ليس فى استطاعتنا استرجاع كامل الطاقة (غازات العادم، احتكاك السيارة، والضجيج الصادر منها، الخ) وتحويلها ثانية إلى غاز بكفاءة تامة، أى أن جزءًا من الطاقة لابد ـ ببساطة ـ أن يُفقد إبان عملية التحويل، وهو بالضبط ما ينص عليه القانون الثانى: لابد أن تزداد ـ إجمالا ـ درجة التشوش ولابد أن تتسرب الطاقة على نحو عشوائى إلى البيئة المحيطة، وبالتالى تمتص البيئة (كوكبنا مثلا) هذه الطاقة المتسربة التى تتجسد فى صورة ارتفاع فى درجة الحرارة. وهكذا كلما نستخدم أى نوع من الطاقة فإن احترارا عاما يقع ـ طبقا للقانون الثانى ـ كنتيجة حتمية.

فالقانون الثانى يخبرنا فى الحقيقة بأنه لامناص ـ لوقف احترار الأرض ـ من التوقف عن استعمال أية طاقة . وأنا هنا لا أقصد مجرد الاستغناء عن بعض مظاهر الرفاهية كقيادة السيارات أو استخدام معطرات الجو أو حتى النزهات البحرية خلال العطلات، فأنت حتى عند قيامك بعمل ضرورى كتناول الطعام، تحوله إلى شغل، بل إن هذه العملية ذات كفاءة منخفضة وفقا للقانون الثانى، وأنت حتما تحدث احترارا فيما حولك. ولايعني هذا أن تكثر من الأكل عوضا عن أجهزة التدفئة فى منزلك، فالارتفاع فى درجة الحرارة ضئيل للغاية، إلا أنه واقع. فالشخص يطلق فى الثانية الواحدة كنمط معتاد حرارة تعادلماينفثه مصباح ضوئى (وحساب ذلك المقدار هو أحد أسئلة امتحاني المفضلة لطلابى الجامعيين فى سنتهم الدراسية الأولى فى مادة الفيزياء التى أدرسها). ولكن عندما تجمع ماينتج من ستة بلايين من البشر يصبح احترار الأشياء من جراء ذلك محسوسا . وليس هناك إلا سبيل واحد لمنع ذلك وهو ألا تقوم بأى نشاط (جرب إخبار رئيسك بذلك) أى اقلع عن الحياة كى لايكون هناك احترار للأرض على الأقل

ذلك الاحترار الذى يسببه الإنسان (الآن تعلو هامة المتشددين الغلاة من أنصار البيئة)، فليس الخطر على الحياة فوق كوكبنا كامنا فى نفاد الطاقة فى حد ذاته، بل الأخطر نفاد وسائل معالجة هذه الطاقة بأعلى درجات الكفاءة الممكنة. ومن الطريف أنه على الرغم من عدم وضوح هذه الرؤية الآن فإن بولتزمان أمكنه ـ حتى فى عام ١٨٨٦ ـ أن يستشف ذلك الموقف فقال: إن الصراع الشامل لبقاء الكائنات الحية لاينبع من الصراع من أجل الطاقة، فهى وفيرة فى صورة حرارة لايمكن تحويلها ـ لسوء الحظ ـ إلى صورة أخرى فى جسم كل إنسان. والأوفق أن الصراع من أجل الإنتروبيا المتاحة من خلال تدفق الطاقة من الشمس الساخنة إلى الأرض الباردة . ولبلوغ الحد الأقصى من استغلال الطاقة، تمدّ النباتات أوراقها التى لاتحدّ مساحاتها، مسخرة طاقة الشمس من خلال عملية لم نكتشفها بعد، وذلك قبل أن تتطامن إلى مستوى درجة حرارة كوكبنا، لتدفع عملية التمثيل الكيميائى التى لانلمح نظيرا لها فى مختبراتنا.

فما الذى نعنيه حقيقة حين نتكلم عن بيئة ذات مستوى أعلى من الإنتروبيا؟ فلنتذكر أن الإنتروبيا تعبر بالأرقام عن عشوائية المنظومة. فأية منظومة فيزيائية مكونة من ذرات، ودرجة العشوائية الأعلى تعنى مزيدا من حركة هذه الذرات ومزيدا من المواقع التى تشغلها داخل المنظومة. ويخلق ذلك حتميا ارتطامات فيما بينها ودرجة حرارة أعلى داخل المنظومة. فعندما تشعر بالاحترار بالغرفة فإنما ذلك لأنك تتعرض لرشقات من ذرات سريعة الحركة تنقل طاقاتها إليك خلال ارتطامها بك. والعكس صحيح فى غرفة أبرد، حيث يتحرك عدد أقل من الذرات حولك فى سرعة كبيرة، إلا أن هناك نقلا أقل للطاقة الإجمالية، ومن ثم تشعر بالبرودة. وهذه القاعدة كبيرة الأهمية فى الفيزياء لدى دراسة خواص الذرات، إذ يصعب للغاية رؤية مايحدث لدى درجات الحرارة العالية حيث تنتقل الذرات وتتقافز بسرعة مرتطمة بعضها ببعض، ومن ثم نحتاج إلى تبريد المنظومة كى نبطئ من حركة الذرات وندرس سلوكها بصورة أيسر. وحينما نتحدث عن التبريد بطبيعة الحال من أجل هذه الدراسة فلا نقصد مجرد التبريد

ببضع درجات، وإنما نقوم بالتبريد أساسا على قدر المستطاع فيزيائيا (وفى الوقت الراهن حتى بضعة أجزاء من البليون من الدرجة الواحدة فوق درجة الصفر المطلق).

وليس بمقدورنا - وفقا للفيزياء - منع احترار الأرض، ولكن الذى يسعنا أن نتحكم فيه، هو تأثيرنا نحن على عملية الاحترار هذه، وستؤثر إجراءاتنا حتما - وإن لم يكن بصورة شاملة كما يعتقد جمهور الناس - على معدل الارتفاع فى درجة الحرارة. وفى الظروف المثالية يلزمنا التحكم فى هذا المعدل بحيث تكون لدينا استراتيجيتنا التى تضمن لنا البقاء على قيد الحياة متى ارتفعت درجة الحرارة إلى الحد الذى لانطيقه. وقد تأخذ هذه الاستراتيجية صورة إخلاء كوكب الأرض، وربما استعمار جزء آخر من كوكبنا. وحتمية إخلاء الأرض ليست خرافية كما قد يتخيل المرء . ولتأخذ فى الحسبان أن ارتفاعا إجماليا قدره حتى خمس درجات فى جو الأرض من شأنه أن يذيب كلتا الطاقيتين الثلجيتين بالقطبين بما يترتب عليه من ارتفاع فى مستوى سطح البحر، وانخفاض محسوس فى مساحة اليابسة، ناهيك عن التغيرات المأساوية فى أنماط المناخ التى ستصاحب ذلك.

ومربط الفرس لدى دعاة الحفاظ على البيئة هو تيقنهم من أن فناء النوع البشرى إن وقع فمردّ ذلك للقانون الأول لا القانون الثانى (أى نفاد المصادر الطبيعية قبل أن يُقضى الامر). أما بالنسبة للفيزيائيين، فالقانون الثانى أكثر فى حتميته بكثير ومامن تعارض فيه، على حين أننا نجد فى القانون الأول - على الأقل - منفذا مأمولا للعثور على سبل لاستعمال صور مختلفة من الطاقة . ويمكن أن ينذرنا القانون الثانى - بانقضاء الحياة خلال مدى قريب (على مقياس زمنى مقداره مئات السنين)، فى حين أننا - فى ظل القانون الأول - قد يمكننا البقاء على قيد الحياة لفترة أطول قليلا (ملايين السنين). إن أى أمل فى البقاء إلى أبد الآبدين فوق هذا الكوكب هو أمل فى غير محله، وسيكون على سلالتنا البشرية فى المآل الأخير أن ترحل عنه، إن عاجلا أو آجلا، فالمسألة ليست إلا مسألة وقت.

وما من شك فى أن كوكبنا يمثل منظومة بالغة التعقد وأن درجة حرارته المتوسطة قد تراوحت بين الارتفاع والانخفاض عبر التاريخ، وكان ذلك بتأثير عوامل "محلية" مختلفة. فقد ارتفعت درجة حرارة الأرض مثلا بصورة غير طبيعية خلال آخر ١٠٠٠٠ سنة، وهذا - ظاهريا - أحد العلل الرئيسية التى تفسر لماذا استطاع البشر آنذاك الارتقاء بوتيرة أسرع من أى وقت آخر.

وفى واقع الحال - ليس مدعاة للعجب أن المجتمعات الأكثر تقدما تستهلك طاقة أعلى. فإذا اتخذنا متوسط نصيب الفرد من الناتج المحلى الإجمالى مؤشرا على مدى تقدم المجتمع، فقد أظهرت دراسة حديثة عام ٢٠٠٦ وجود علاقة قوية للغاية بين درجة تقدم المجتمع واستهلاكه للطاقة. وعلى رأس القائمة نجد الولايات المتحدة وتتبعها رأسا اليابان، فأستراليا والمملكة المتحدة وفرنسا وألمانيا وكندا، فكل هذه الدول تتخطى متوسط استهلاك العالم بكثير. وعلى الناحية الأخرى تقبع تحت خط المتوسط العالمى الأرجنتين والبرازيل والصين وجنوب أفريقيا والكثير من دول العالم النامية. وطبقا للقانون الثاني يتطلب ارتفاع مستوى استهلاك الطاقة - كنمط عام - ازديادا فى الإنتروبيا، ومن ثم يمكن أن تستخدم هذه المعلومات كمؤشر آخر (بل وأفضل) على مساهمة الفرد النسبية فى احترار العالم بدلا من النظر إلى انبعاثات ثانى أكسيد الكربون. والمثل المضيء بوضوح فى هذا التحليل هو اليابان، حيث تتعدى كفاءتها ضعف كفاءة الولايات المتحدة، من حيث تمتعها بنفس درجة التقدم، مع استهلاك أقل من نصف استهلاك الأخيرة من الطاقة . فكيف ياترى نفكر فى فرض ضريبة عالمية تتماشى مع كفاءة استغلال الطاقة (أوكمية الإنتروبيا) ؟ لعلنا سننشئ سوقا عالمية للاتجار فى (الإنتروبيا)، ربما بدت فكرة جنونية، ولكن لعلها ليست بالسيئة. وها أنت ذا أول من تسمع بها هنا.

وبالنسبة للجينات، عاش البشر خلال آخر ١٥٠٠٠٠ سنة ولجيناتهم نفس التركيب. وباستعمال المعلومات الجينية يمكن اقتفاء أثر أصولنا، حيث وجدناها تعود إلى بقعة ما فى أفريقيا، ولكن خلال معظم الوقت قبل آخر ١٠٠٠٠ سنة، كان الطقس شديد

القسوة ودرجات الحرارة بالغة الانخفاض، فأكره البشر على التنقل كثيرا بحثا عن مناخ أنسب. وحينما يتنقل الإنسان فى مثل هذه الملابسات يصعب عليه التواصل مع أتراب له، أو اكتساب الأدوات الأساسية لنشر المعرفة والثقافة. وفى تتابع للأحداث مثل هذا تسود بجلاء غرائز حب البقاء البدائية.

ورغم كل تلك التقلبات، ووفقا للقانون الثانى، فقد كان النزوع العام أن يتجه كوكبنا صوب نقطة "الموت الحرارى". ومن شأن الموت الحرارى أن يقع عندما تبترد الشمس إلى أن تصل الأرض وغيرها من الكواكب إلى ذات درجة الحرارة، وذلك رغم أن الفيزياء الفلكية تنبئنا - عمليا - أن الشمس قبل أن يقع هذا سوف تنتفخ أولا متحورة إلى عملاق أحمر يدمّر بقية الكواكب، ويصعب علينا تصور أى نوع من الحياة يمكن أن يوجد بعد ذلك.

قد يصل القارئ المتبصر الآن إلى نقطة من الحيرة العميقة، إذ يلوح أن نزوع الإنتروبيا فى الفيزياء إلى التحول من الاتساق (الإنتروبيا المنخفضة) إلى الفوضى أو التشوش (المستوى العالى من الإنتروبيا). وفى علم الأحياء - على النقيض من ذلك - تجنح الحياة للاتساق، ويميل الكائن الحى نحو موقف أقل فأقل تشوشا وأكثر تراتبا أو تعقدا. ألا يتعارض هذان الاتجاهان مع بعضهما البعض؟ هل تحاول الحياة ياترى انتهاك القانون الثانى للديناميكا الحرارية ؟ لذلك نشب نقاش حامى الوطيس منذ اكتشاف القانون الثانى.

وعلى النقيض من ذلك، من شأننا أن نبحث كيف يسير القانون الثاني جنبا إلى جنب مع الحياة . لقد ناقشنا فيما سبق أن الشفرة الجينية قد غدت أكثر تعقدا مع التطور، ومن هنا وطبقا لشانون، فإنها تحتاج إلى المزيد من شذرات المعلومات وبالتالى فإن بها إنتروبيا أعلى. فبينما تتزايد الإنتروبيا فى الفيزياء طبقا للقانون الثانى، فإن إنتروبيا الشفرة الجينية تزداد فى نفس الوقت وفقا لشانون. فهل لهذه الزيادة فى إنتروبيا الشفرة الجينية علاقة بالقانون الثانى؟ هل يعنى هذا فى الحقيقة وبعيدا عن انتهاكه، أن الحياة هى نتيجة لقانون الديناميكا الحرارية الثانى؟

كان شرودينجر هو أول من تطرق - بصورة مقنعة - إلى أن الحياة تظل على مستوى منخفض من الإنتروبيا من خلال زيادة إنتروبيا البيئة المحيطة. وبطبيعة الحال لايتعارض هذا مع حقيقة أن الجينوم قد يزداد تعقدا بمرور الزمن. وفى الحقيقة ربما تكون فى حاجة إلى جينوم[1] أكثر تعقيدا يتيح لك استغلالا أفضل لظروف البيئة ونقلك إلى حالة من الإنتروبيا أكثر انخفاضا. وقد وضح شرودينجر وجهة نظره فى الحياة وكيفية احتفاظها بمستوى منخفض من الإنتروبيا فى كتاب صغير طريف عنوانه: ماهى الحياة ?what is life، فطرح فى نفس الكتاب أنه بالإضافة إلى الطاقة المحتواه فى الطعام (عدد السعرات الحرارية فى قطعة شيكولاته مثلا) فلابد من ذكر محتواه من الإنتروبيا كذلك. ولنتصور أنك تبتاع قطعة شيكولاته من شركة تيسكو tesco[2] فتجد بطاقة تخبرك بأن أكلك لهذه القطعة سيسهم بخمس وحدات من الإنتروبيا. فما الذى يعنيه ذلك فى الواقع ؟ إنه يعني - بمقياس الطاقة - أن بمقدورك أن تحيا على قطع الشيكولاته أمدا طويلا، على أنك - من الوجهة العملية - تفتقد معلومات حيوية تلزمك لإبقاء بدنك فى حالة عالية من الاتساق (أو حالة من الإنتروبيا المنخفضة)، ومن الإنصاف القول بأنه كلما قلت أهمية المعلومات المحتواة فى الطعام، كلما ارتفع محتواه من الإنتروبيا.

ويمكن بالطبع الاستعاضة عن الأطعمة ذات الإنتروبيا العالية بأطعمة أخرى لتخفيض إسهام الإنتروبيا الإجمالية فى بدنك . وهذا هو طبعا مفهوم النظام الغذائى المتوازن . ومرة أخرى فإن القانون الثاني هو السائد هنا، إذ أن السماح للجسم بأن يؤول إلى حالة تشوش عال سيؤدى إلى اختلال وظائفه لأقصى حد والأرجح أن يقضي

---

(١) الجينوم هو التسلسل الكامل للدنا ضمن مجموعة وحيدة من الكُرموسومات تشفر فيها كافة المعلومات الوراثية. تمت صياغة هذا المصطلح عام ١٩٢٠ على يد عالم النبات "هانز وينكلر" من دمج كلمتى جين وكُرموسوم فى كلمة واحدة. (المترجم) .

(٢) Tesco : شركة عمومية دولية مقرها الرئيس فى بريطانيا وتعمل فى مجال تموينات سلاسل محال التجزئة الكبرى. (المترجم) .

إن عاجلا أو آجلا إلى الوفاة. وسيوافقنا مورجان سبورلوك Morgan spurlock من كل قلبه، بعد قضائه شهرا فى التهام وجبات ماكدونالد فقط[1] (رغم أنه - طبقا للقانون الثاني - من شأنه أن يحصل على نفس التأثير بتناول ما يحتوي على طاقة مكافئة من القرنبيط، والذى سيؤدي بالمثل إلى نفس نمط التغذية غير المتوازن وإلى استمرار ازدياد الإنتروبيا.

ولكى نجسد كيف أن الإنتروبيا (وليس الطاقة) هى كلمة السر، ربما يجب - أن يكون أول عرض سينمائى نشاهده هو ? super _ cauliflower me .

من شأن كل هذا أن يقودنا إلى خلاصة مؤداها أن أفضل الأغذية هى تلك التى تكافئ قيمة غذائية معينة منها، أقل زيادة فى الإنتروبيا بالجسم. أما الآن فسأتمادى قليلا وأحزر أن مقدار الإنتروبيا فى غذاء مايرتبط بصلاحيته، ليس بمعيار مكوناته الغذائية فحسب بل وأيضا بمعيار الإتاحية البيولوجية لهذه المكونات. ولهذا يشير القانون الثانى بأن نوع الطعام الذى يقلل من إنتاج الإنتروبيا وبنفس تكلفة الطاقة هو أفضل سبيل للتقدم، وهو مجال للبحث ساخن وشديد الضرورة. وإذا ماعثرت على إجابة قاطعة فيمكنك أن تقرأ عن ذلك فى كتاب ثورة النظام الغذائى عند الأستاذ / فيدرال[2].

ومن الأمور الطريفة، عبارة تعارض القانون الثانى، عاشت لأكثر من مائة عام قبل أن تدحض مؤخرا. قدم هذه المقولة جيمس كلارك ماكسويل عام ١٨٦٧، فقد تخيل كائنا افتراضيا - وهو ما اصطلح على تسميته بعفريت أو شبح أو شيطان ماكسويل، والذى يفترض فيه البراعة الفائقة بحيث يخرق القانون الثانى. لقد فكر ماكسويل أنه فى حين تخضع الأشياء غير الحية كالأبنية، والمقاعد والجبال حتميا للقانون الثانى،

---

(١) مورجان سبورالوك (١٩٧٠-) كاتب أفلام سينمائية ومنتج أفلام تليفزيونية وثائقية وفكاهية وناشط سياسى أمريكى. ابتكر برنامجا تليفزيونيا بعنوان (أرامنك) يقوم فيه أناس عاديون بإتيان أعمال غير مألوفة لقاء المال، وقد اشتهر بفيلمه (سوبر سايزمي Super Sigeme) عن آثار تناول أطعمة معينة على الصحة وذلك عن تجربة شخصية له، إذ واظب على تناول وجبات ماكدونالز وحدها طيلة شهر كامل، وهو ما يشير إليه الكاتب. (المترجم)

(٢) "Pro Fessor Vedral's Diet Revolution" كتاب من تأليف المؤلف. (المترجم)

وتتآكل على مر الزمن، فربما تستطيع الكائنات المفكرة تحاشي ذلك تماما. فهذا الشبح قادر على تحويل الحرارة إلى شغل دونما أى فقدان فى الكفاءة، وهو ما يتعارض فى خط مستقيم مع القانون الثانى. أرّق ذلك "الشبح" العلماء كثيراً وقتها، إذ كان يهدد بزلزلة صرح الفيزياء. ومن ناحية أخرى فمن شأن هذا النبأ العظيم أن ينعش آمال البشر فى العثور على طاقة لاتكلفهم شيئا ليستخرجوا منها الشغل.

وها كم فكرة ماكسويل الألمعية، وهى بسيطة وأساسية للغاية، حتى أننا سنقابل تطبيقاتها فى كل الأبواب اللاحقة . فالذرات التى يتكون منها الهواء فى غرفة معيشتك، نموذج لمنظومة فيزيائية غير حية وفى حالة قصوى من الشواش، فهى تئز حولك، متقافزة أماما وخلفا مابين جدران غرفتك بسرعة مذهلة تبلغ ٥٠٠ متراً فى الثانية. فإذا كان طول غرفتك خمسة أمتار (وهو طول متوسط) فإن كل ذرة تتردد بين جداريها مائة مرة فى الثانية الواحدة، وهى سرعة جدّ هائلة.

والذرات تتحرك حولك فى نمط عشوائى تماما، فبعضها يتحرك إلى أعلى وبعضها إلى أسفل، وبعضها يتحرك يمينا وبعضها لليسار، وهلم جرا. ولو أنك حسبت الإنتروبيا خاصتها لوجدتها عند حدها الأقصى، أى أن حركة هاتيك الذرات - فى ظل قيمة طاقة معينة - لايمكن أن توجد فى حالة أكثر تشوشا.

وماتخيلّه ماكسويل، هو كائن ضئيل، فى حجم الجزىء، فهو من الضآلة بحيث لايمكننا رؤيته بالعين المجردة. ولكنه - بخلاف الجزيئات - يستطيع أن يرصد سرعات الذرات المتحركة واتجاهها، والأمر لايقتصر على مجرد الرصد بل إن ذلك الشبح أو العفريت ذا النزوات يعمل بذكاء، فيقف فى منتصف الغرفة، وفى كل مرة تدنو فيها ذرة منه، يعمل عمل شرطى المرور فيقوم بالتالى: إذا لاحظ الشبح - باستخدام جهازه لقياس السرعة - أن الذرة تتحرك مسرعة، فمن شأنه أن يوجهها إلى ناحية من الحجرة، وإذا كانت بطيئة فى حركتها فإنه يوجهها إلى الناحية الأخرى، على أن عملية إعادة التوجيه هذه يجب أن تجرى من غير ما تأثير على سرعة الذرة.

ومن شأن هذه العملية أن تعزل الجزيئات السريعة فى جانب والبطيئة فى جانب آخر، وبعبارة أخرى فبمقدورها إدخال شىء من النظام (أو الاتساق) على هذه المنظومة التى كان يسودها فى البداية الجزافية البالغة دون إنفاق أية طاقة. وبيّن ماكسويل أن كل مايحتاجه (شبحه) حقيقة هو أن يقيس، ويفكر، فى حين أن كل أفعاله الأخرى ستتم دون إهدار أية طاقة.

وتخليق الانتظام من العشوائية هو بالضبط ماينبئنا القانون الثانى باستحالة تحقيقه. فالتشوش - ببساطة أخذ فى الازدياد، مثابر عليه. وهذا التنسيق للذرات يقوم به الشبح الذى قد يتجسد لك بالفعل فى الغرفة لو اختلفت درجات الحرارة فيها، فيكون الجانب ذو الذرات البطيئة أكثر برودة من الجانب ذي الذرات الأسرع، وعندما يكون لدينا فرق فى درجات الحرارة فمعناه أن لدينا قدرة إلى أداء الشغل وهو مايعنى طاقة بلا ثمن (كأنك مدعوّ لغداء مجانى).

أقلق ذلك ماكسويل بشدة. ففى حين تخضع الأجسام الفيزيائية عديمة الحياة بكل تاكيد للقانون الثانى، تراءى له أن الحياة - وبصفة خاصة الحياة الذكية - تستطيع بسهولة خرقه.

والقانون الثانى صحيح فقط فى حالة المنظومات المعزولة، أى التى لاتتبادل التأثير مع غيرها من المنظومات. وعلى أية حال، فليس الكائن الحى جزيرة منعزلة، فنحن نتبادل الطاقة والمادة مع بيئتنا. وهنا بالضبط تتدخل نقطة شرودينجر. فالمنظومات الحية تبقى على قيد الحياة بامتصاص الطاقة والإنتروبيا المنخفضة (المعلومات) من بيئتها. ومن ثم فالكائن الحى يمكنه أن يقلل من شواشه (وهو يفعل ذلك)، إلا أن ذلك يحدث دائما على حساب زيادة الإنتروبيا فى مكان آخر من بيئته (ومن هنا يأتي جدلنا حول احترار الأرض).

وحتى الأرض نفسها ليست بالمنظومة المعزولة، فهى تتلقى الطاقة من الشمس فى صورة ضوء. وتطور الحياة - فى حد ذاته - قد يخفض الشواش، غير أن الأرض تزداد حرارتها نتيجة لذلك.

وسينتهي الأمر ببرودة الشمس . وما أن تبلغ الشمس والأرض نفس درجة الحرارة (أى الموت الحرارى)، حتى تغدو الحياة غير قادرة على الاستمرار - حتى من ناحية المبدأ، ناهيك عن الناحية العملية، ويوضح ذلك لنا الآن لماذا يتحتم على الحياة - كى تستمر - أن تكون خلاّقة مبتكرة، ولن يقوى على الصمود فى الكون سوى روبوتات فون نويمان القادرة على التكاثر، واستغلال إمكاناتها، والإفلات فى النهاية - من بيئتها .

ولنعد الآن إلى ماكسويل، ماذا عن شبحه وماذا عسانا نفيد منه؟ هل يتأتى أن يوجد مثل هذا الكائن فى ظل ما أسلفنا من نقاش؟ هل بوسع أى شيء أن يقلل من الإنتروبيا الكلية، ولايخفض من شواشه هو فقط، ولكن من شواش الكون بأكمله بما فيه ذلك الكائن ؟

لقد تحقق ليو سزيلارد - وهو الفيزيائى المجرى وأحد من أسهموا فى إنتاج القنبلة الذرية إبان الحرب العالمية الثانية - تحقق من أن التبصر المتمعن يبيّن لماذا لاينتهك (الشبح) القانون الثانى وأن ذلك يكمن فى استعمال مفهوم المعلومات. وماتحقق منه ببساطة شديدة هو أن كل ماكان على الشبح (العفريت) أن يقوم به هو أن يفعّل صيغة بسيطة جدا من المعلومات، فبمقدور (الشبح) - بعبارة أخرى - أن ينزل بمرتبته من كائن فوق طبيعى خارق ليصبح (حاسوبا) اعتياديا .

والنقطة المهمة فى ملاحظة سزيلارد أنه كان يناقش هذه المفاهيم قبل حتى أن تخترع الحواسيب بعشر سنوات). والتضمين الجوهرى فى كون (الشبح) منظومة فيزيائية هو أنه - كنتيجة للقانون الثاني - لابد من أن ترتفع درجة حرارته لسبب أو لآخر. وهذا الارتفاع هو ببساطة تجسيد لزيادة الإنتروبيا الخاصة به الناجمة عن اكتسابه المعلومات . واعتقد سزيلارد أن قياس سرعة الذرات هو ماكان يتطلب من الشبح بذل الشغل وما ينجم عن ذلك من ارتفاع فى درجة الحرارة، وهكذا انتهى سزيلارد إلى استحالة وجود الشبح - حتى من ناحية المبدأ.

وقد توصل كثير من الناس - فيما بعد - إلى نفس الاستنتاج. وجاءت أكثر الخطوات طرافة فى عقد الستينيات على يد رولف لانداور Rolf landauer الفيزيائى الأمريكى فى شركة IBM، الذى اقتفى بدقة خطوات سزيلارد، وخلص إلى حقيقة أن أى حاسوب -وليس الشبح فحسب - لابد وأن ترتفع درجة حرارته أثناء تشغيله. ومثله مثل شبح ماكسويل، يعالج الحاسوب فى عمله المعلومات، وأى معالجة للمعلومات - وكما توصل لانداور - لابد أن تؤدى إلى تسرب للحرارة . لذا، فاحترار الحواسيب أمر مؤكد شأنه شأن القانون الثانى.

ونحن نعلم ذلك سلفا من خبرتنا المباشرة، فإذا ماشغلت حاسوبك الشخصى أو حاسوبك الصغير المحمول laptop لفتره مديدة فستلاحظ ارتفاع درجة حرارته. وهذا الأثر الحرارى هو فى النهاية من التداعيات الحتمية لطريقة معالجة الحاسوب للبيانات . بل إن بوسعنا أن نجرى عملية حسابية يسيرة لتقدير احترار الأشياء مع تشغيل الحاسوب . ويمكن للحاسوب أن يؤدى - مثلا - مليون حسبة فى الثانية، والحواسيب الراهنة تولد نحو مليون وحدة من الحرارة الناجمه عن كل حسبة.

فاذا ما افترضنا لحجرتك أبعادا ملائمة وضربناها فى حاصل ضرب ثابت بولتزمان فى درجة الحرارة فإن الناتج هو زيادة بضع درجات فى اليوم. وهكذا فإن الحواسيب مصدر فعال لنفث الحرارة (وقد تكون أكثر فاعلية فى إشعاع الحرارة من عمليات الحساب نفسها).

ولكن، هل هذا الارتفاع فى درجة الحرارة أمر حتمى على وجه الإطلاق فى أية عملية لمعالجة المعلومات ؟ أو ليس بوسعنا الحصول على معالجات سلسلة بيانات لا احتكاك فيها وتعمل دونما نفث للحرارة وتكون صديقة حميمة للبيئة ؟ إن الإجابة على هذا السؤال لهى من الطرافة فى النهاية.

لو أن ذاكرة الحاسوب مهيأة بطريقة صحيحة فيمكنها التمشي مع كل عمليات البيانات من غير ما ارتفاع فى الحرارة أو الشواش. على كل حال، فمع امتلاء الذاكرة فإنها تحتاج لاستمرار العمل إلى إعادة التشغيل أو إلغاء بعض المعلومات أكثر من المعاناة نتيجة زيادة التحميل.

ولعلك تقول: "وماالمشكلة ؟، ماعليك إلا أن تضغط على زر الإلغاء !" ولكن لايمكن مجرد الضغط على زر الإلغاء، متناسيا أمر المعلومات التى ألغيناها لتونا. هذه الحقيقة هى التى تقود فى خاتمة المطاف إلى إثبات أن "المعلومات حقيقة فيزيائية".

حينما نلغي معلومات ما فإن كل مانفعله فى الحقيقة هو إزاحة هذه المعلومات غير المطلوبة إلى البيئة المحيطة، أى أننا نحدث فى البيئة تشوشا. وبحكم التعريف، ينجم عن تفريغ هذه المعلومات فى البيئة، زيادة فى الإنتروبيا الخاصة بها وبالتبعية ارتفاع فى درجة حرارتها، ولهذا السبب تزود الحواسيب بمراوح صغيرة لتسريب الحرارة المتولدة فى المكونات مع استمرار إزالة المعلومات.

استخدم تشارلزبينيت، وهو زميل للانداور فى شركة IBM، هذا المنطق لنبذ فكرة شبح ماكسويل نهائيا . فحتى لو أن الشبح عالج المعلومات من أجل قياس السرعات، فلابد وأن له ذاكرة محدودة، ومن ثم فسيلغي فى نهاية الأمر - هذه المعلومات كى يستمر. وهذا الإلغاء للمعلومات من ذاكرة الشبح هو عينه الذى يزيد من المعلومات فى البيئة المحيطة بمقدار الشغل الذى بذله الشبح على أقل تقدير. وهكذا فإن الشبح حتى فى الحالة المثالية لايستطيع خرق القانون الثانى.

والرسالة التى توجهها إلينا أعمال لانداور وبينيت، هى أن المعلومات كيان فيزيائى تماما، أكثر من كونها اعتقادا مجردا. وتمشيا مع هذا المعنى فإنها تقف على قدم المساواة - على الأقل - مع الشغل والطاقة. وهكذا فقد رقينا بالمعلومات إلى مكانة الطاقة والمادة المرموقة . على أننى - وكما وعدت - سأوضح أن للمعلومات قيمة أساسية أكثر حتى من ذلك. وقد ألمحت سريعا بتحققي من هذا وأنا بعد طالب جامعى فى لندن. لقد أنعشت فىّ الكلمات الثلاث " المعلومات بذاتها فيزيائية منظورا جديدا، وكان من شأنها أن تؤثر بعمق فى خط مسيرتى البحثية وتطورها.

ولنأخذ الذهن البشرى مثالا لجهاز معالجة المعلومات، فالمعلومات داخل رؤوسنا والسرعة التى تجرى معالجتها تتخطى قدرة أى حاسوب (ولنلاحظ أن ذلك لن يستمر لأكثر من بضع سنوات قادمة مع استمرار التطور الراهن) ولدينا بالمخ نحو

عشرة بلايين خلية عصبية أو عصبونة وهى المسئولة عن نقل النبضات الكهربائية مابين الرأس والجسم. فبمجرد أن يلمسك شخص ما، تولد الخلايا العصبية إشارة فى موضع اللمس، وتنتقل هذه الإشارة عبر شبكة من الأعصاب حتى تبلغ المخ (وأجزاء أخرى من البدن فى بعض الأحايين).

دعنا نفترض أن كل خلية عصبية يمكنها التقاط شذرة معلومات واحدة (إما الرقم صفر أو الواحد) وتشفر هذه الشذرة لأحدهما طبقا لوجود الإشاره الكهربية فى الخلية العصبية أو غيابها، أى أن الدماغ يستشعر رقم (١) عند وجود إشارة كهربية، ويستشعر الرقم (٠) فى حالة عدم وجودها. ربما كان هذا تبسيطا أكثر من اللازم، ولكن دعنا نسهل الأمور. من هنا فإن ذهننا يمكنه استيعاب عشرة بلايين شذرة معلومات. وما أن نستنفد كل طاقات الذاكرة داخل رأسنا حتى يتعين علينا - لنتمكن من تسجيل أى شىء إضافى - أن نلغى أولا بعضا من الذاكرة فى مكان آخر. وهكذا، فإن النسيان (لاالغفران) هو مايحتاج لطاقة.

لعل القارئ يتساءل كم من الاتساق يمكننا إحداثه باستنفاد كل ماتتسع له أذهاننا من ذاكرة ؟ والنتيجة تأخذ بالألباب. فليس بمقدورنا أن نولد اتساقا إلا بمقدار جزء من مليون مما يتطلبه تبريد قارورة مياه معتادة درجة واحدة، وهو أمر يسهل على مبردك المنزلى أن يقوم به فى ثوان معدودة.

وإذا كان الأمر كذلك، فلماذا يفرز الحاسوب الشخصى بالمنزل كل هذه الحرارة ويطلقها فى البيئة المحيطة، وهو الذى لايمتلك إلا كسرا من قدرة أدمغتنا الحسابية ؟ العلة فى ذلك هى أن أذهاننا تتخطى كفاءتها فى معالجة المعلومات الحواسيب بكثير، فهى لاتفرغ محتوياتها للبيئة المحيطة إلا فى حالات الضرورة القصوى، فبينما يستعمل الحاسوب مليون وحدة طاقة لكل عملية حسابية، يستعمل الذهن البشرى مائة وحدة فحسب. ولإنصاف الحواسيب نذكر أنها لم تظهر للوجود بصورتها الحالية إلا منذ ستين عاما، فى حين تزاول الحياة هذه اللعبة منذ ثلاثة ونصف بليون سنة.

لقد بحثنا فى الباب الرابع أن معالجة المعلومات تحتل محل القلب من الحياة، كامنة فى استنساخ الدنا، والحسابات التى تجريها الدنا تتمحور حول توفيق أزواج القواعد، وكل عملية توليف تكلف مائة وحدة طاقة تقريبا. وإعادة تخليق خيط جديد من الدنا بالكامل تحتاج إلى بليون وحدة طاقة . وتزيد عملية معالجة المعلومات هذه من حرارة الوسط المحيط.

وتعتمد كل وحدة من وحدات الطاقة التى نتحدث عنها بصورة مباشرة على درجة الحرارة. فماذا لو جرت معالجة المعلومات برمتها فى درجة الصفر المطلق ؟ (وتساوي درجة ٢٧٣ تحت الصفر المئوى تقريبا). هل سيبقى احترار الحواسيب قائما. للطرافة تخبرنا الديناميكا الحرارية أنه لن يكون هناك أى تسرب للحرارة خلال الحسابات إذا جرت عملية معالجة المعلومات عند الصفر المطلق . ولكن أحدس ... فالفيزياء تمنع أى شيء من الوصول إلى هذه الدرجة الخفية، وهو مايعرف بالقانون الثالث للديناميكا الحرارية. ومن ثم فما من سبيل للربح إذا لاعب المرء الطبيعة (وما من غذاء مجانى مكافأة لك). وبفضل المعلومات، برئت فى النهاية ساحة الحكمة العلمية الذائعة : ما من ربح .. دون ألم.

النقاط المحورية فى الفصل الخامس :

- تعبر الإنتروبيا الفيزيائية لمنظومة ما عن مدى تشوشها (فوضويتها)، وتنزع دوما صوب الازدياد مع الزمن. ويعرف ذلك بقانون الديناميكا الحرارية الثاني.

- ترتبط الإنتروبيا الفيزيائية ارتباطًا وثيقا بإنتروبيا شانون، بل هى فى الواقع أحد أمثلتها.

- يدفع تزايد الشواش أو الفوضى فى الكون بالحياة نحو مزيد من التراكب.

- المنظومات التى تستغل الشواش يطلق عليها "أشباح ماكسويل" وكل المنظومات الحية هى بمثابة (أشباح ماكسويل)، بل وكذلك بعض الأشياء عديمة الحياة مثل الحواسيب. فالحواسيب تحسن أداء المهام الحسابية المعينة مستخدمة الطاقة فى صورة كهرباء كى تنتج شغلا وتفرز حرارة. وكل (الأشباح) تسلك نفس المسلك.

- ونتيجة لذلك، تزيد البيئة (التى تحشدها هذه الأشباح الفيزيائية)، من درجة الحرارة . فالحياة كلها - بما فيها من سيارات وحواسيب وغيرها تسهم فى احترار كوكب الارض، بمقتضى القانون الثاني.

- وبعيدا عن كونها مفهوما مجردا، فقد تبين أن المعلومات تمثل كيانا فيزيائيا واقعيا للغاية.

(٦)

ضع رهانك .. كى تربح

ناقشنا - حتى الآن - كيف تنتشر الحياة وكيف تنتهى فى خاتمة المطاف، بيد أننى أحدس أن أغلبنا مهموم بما نقوم به بين البدء والنهاية. وفى هذا الباب يطيب لى أن أبقى بين هذين الحدين وأستمتع باللحظة الراهنة. وماذا نسأل أكثر من ذلك ؟ إن الإثارة - فى المقام الأول - هى ما أود الظفر به.

وفى حين أن مفهوم الإثارة قد يكون ذاتيا، فستؤيدنى الأكثرية فى الترحيب بالنزر اليسير من المغامرة، وتحقق الإثارة عسير بالتأكيد (ولنواجه الحقيقة، إننا جميعا نشعر بالملل إزاء اليقين الكامل) فلنختر - بدلا من ذلك - الحياة ونبحث السبل المختلفة لجعلها أكثر إثارة.

العام ١٩٦٢، والمكان لاس فيجاس مدينة الأحلام. إن الملايين من الأموال تتدفق ربحا وخسارة فى الدقيقة الواحدة من كل يوم. والمدينة مفعمة بالسذج الحالمين الذين قطعوا صحراء نيفادا بأموال اقترضوها ليجربوا حظوظهم، فلعلهم يعودون مليونيرات (أم سيعودون يجرون أذيال الخيبة !) على أن الأمر اليوم مختلف. فها هو راعي بقر جديد يحل بالمدينة. إنه يدلف إلى أى أحد نوادى المراهنات بينما الموسيقى تصدح والكاميرات مسلطة عليه، والنبيذ يسيل والغواني يعمرن المكان. إنه يتطلع فيما حوله، ويقع بصره على مائدة لعبة البلاك جاك[١] فيتجه رأسا صوبها . وإذا كانت لعبة البوكر

(١) بلاك جاك Blackjack : لعبة من ألعاب الورق هدفها تجميع الأوراق بنقاط أعلى من نقاط الموزع بشرط ألا يتجاوز العدد ٢١ . (المترجم)

هى أكثر ألعاب الورق إثارة، فعلام ينفق صاحبنا هذا كل وقته على مائدة البلاك جاك؟ إن لديه استراتيجية يوقن أنها ستهزم موزع الورق. وفى جيبه عشرة آلاف دولار يزمع المقامرة بها (فى عام ١٩٦٢ كان هذا المبلغ يعادل ربع مليون دولار الآن) ومن الجلى أن هذا الرجل يبغي استثمارها.

إنه يبدأ اللعب مثل أى غمر غرير، ويضع مبالغ رهان ضئيلة - لايأبه بها - ولكن مع احتدام المباراة، وفيما يبارح الآخرون المائدة، يداوم صاحبنا على اللعب. وفى تؤدة وثقة، يلوح أنه يفلح فى استراتيجيته. وبطبيعة الحال لاترحب نوادى الرهان بمن يربحون وتأخذ حذرها بصفة خاصة من أولئك الذين يسعون للربح بتلك الكفاءة والمثابرة التى لاتعرف الكلل. فى حرفية وبرود. وبينما يراقبه رجال أمن النادى المتيقظون، لايمكنهم معرفة السر .. لماذا يربح الرجل ياترى على خط مستقيم، لماذا لايخسر مثل الآخرين؟ وبعد أن يدعوه فى اللعب لساعتين أخريين، يقررون الاكتفاء بذلك ويصحبونه فى حراستهم إلى خارج المبنى. ويالها من قاعدة طريفة أن يستطيع أى ناد للمقامرة أن يطردك لمجرد أنك بدأت تربح أكثر مما تسمح به التوقعات الإحصائية (والتى بمقتضاها ينبغي - فى الحساب الختامى - أن تخسر) ! لعب هذا الشخص خلال نهاية الأسبوع فى كل نوادى لاس فيجاس تقريبا، وفى النهاية كان يطرد منها دوما. والمحصلة أنه بارح لاس فيجاس وبجعبته ربح صاف قدره ٢١٠٠٠ دولار، أى أكثر من ضعف مبلغه المستثمر الأصلى.

كان اسم هذا الشخص "إدوارد ثورب"، وكان - كما اتضح فيما بعد - أستاذا للرياضيات فى معهد ماساتشوستس التكنولوجي،وقد صنف كتابا بعد ذلك عن خبراته واستراتيجيته فى المراهنات عنوانه "اهزم موزع الورق"، وسرعان ماغدا من أكثر الكتب مبيعا حيث بيع منه أكثر من ٧٠٠٠٠ نسخة. فماذا كانت استراتيجيته؟ (ومن ذا الذى بالله يقرض أستاذا جامعيا ربع مليون دولار ليقامر بها؟)

كان ركوب المخاطر بالمثل يثير شغف إدوارد ثورب، وكان يعرف ـ على أية حال ـ أن استمراره فى اللعب على نفس المنوال يحد من شعوره بالمخاطرة، ولن يمكنه من أن يظل رابحا على المدى الطويل. فما هو القدر الملائم من مستوى المخاطرة بالضبط ؟ لك أن تصدق أو لاتصدق أن هذا المستوى تحكمه أيضا قوانين شانون للمعلومات والتى تنص على أن "تقدم على المخاطرة كى تربح".

كان إدوارد ثورب على إلمام طيب ببحوث شانون وروبرت كيلي ـ وهو زميل لشانون فى مختبرات بل . وقد دون كيلي ورقته البحثية بعد بحث شانون بحوالى عشر سنوات، وكانت أول من طبق أفكار شانون فى المراهنة، وأول عمل يعممّ نظرية شانون للمعلومات، ولعله مما يبعث على الدهشة ألا ينشر خلال تلك السنوات العشر أى عمل أخر. ولم يكن السبب فى ذلك طول الوقت اللازم لقبول أفكار شانون كما قد يظن، بل على العكس من ذلك لقد حظيت ورقته بنجاح فورى. ولكن النقطة الأهم ـ بدلا من ذلك ـ هى أن نتائج شانون كانت تامة الكمال، ولم تدع لأحد فرصة إضافة أى زيادة عليها فكيف استطاع كيلي أن يتدبر أمره ؟

فلنتذكر أن الربحية من المعلومات تتعاظم عندما يقع أمر غير مرجح الحدوث، وهو الأمر الذى يثير أعظم الاندهاش وربما الاستثارة. حسنا. إن أفضل وسيلة للإثارة هى أن تدلف إلى نادي لعب وتضع رهانا على شىء يندر وقوعه، كأن تراهن على (عينى الأفعى) أى أن تحصل من إلقاء زوج من حجر النرد على رقم ١ من كل منهما، فاحتمال وقوع هذا هو ١:٣٦ (لأن هناك ستة أرقام على أوجه كل حجر نرد، فالاحتمال = ١/٦ × ١/٦ =١/٣٦) وبالنظر إلى ضعف هذا الاحتمال، فإنك تربح مبلغا ضخما إذا اخترته وتحقق. والمراهنة على الحصول على رقم زوجى من رمى النرد لن يعود عليك بمثل هذا الربح، ففرصة الحصول عليه هى خمسون بالمائة. ولو كانت نوادى المقامرة منصفة (وليس من بينها ماهو كذلك، بدليل طرد ثورب خارجا فى لاس فيجاس) فإنك بمراهنتك على (عينى الأفعى) تربح ٣٦ دولارا مقابل كل دولار منك. ألا ترى معى أنه أمر يستحق !

وبطبيعة الحال لست ملزما بالمراهنة فى ناد، وبوسعك استثمار أموالك فى شركات أعمال، ومع أخذ الظروف السائدة بالأسواق واستراتيجيات العمل فى الحسبان، فالشركات الأصغر والأقل حظا من الشهرة والتى تتدنى احتمالات ازدهارها، هى التى ستجني من ورائها أرباحا أعلى إذا مانجحت (على أساس استثمار ثابت). ويلوح ذلك كثير الشبه بما قلناه عن المعلومات: كلما قلت احتمالات الحدث، كلما زاد الربح من المعلومات، وفى هذه الحالة كلما زادت المعلومات كلما ارتفع العائد، فقواعد المعلومات لدى شانون فى الواقع تفلح بالمثل فى عالم صفقات الأعمال، والمراهنة على ازدهار الشركات يفضل المراهنة فى أى ناد، بشرط نزاهة الأسواق بطبيعة الحال.

والجميع يطيب له أن يربح ولا يود أن يخرج خاسرا . فهل يمكن لنظرية المعلومات أن ترشدنا كيف نعظم من فرص نجاحنا ؟ إن الإجابة - وإن بدت باعثة على الدهشة - هى "نعم". وتعظيم الربح فى المضاربات المالية هو بالضبط نفس مشكلة تعظيم طاقة قنوات الاتصال،التى عرفنا فى الباب الثالث أن شانون قد حلها. لذا، فهنا حالة تطبيق لهذا الحل على مشاكل أخرى، كان الحل هو أن تعظيم طاقة قنوات الاتصال يتحقق إذا اتبعت أطول الرسائل قاعدة "لوغاريتم مقلوب الاحتمالية" لشانون. فإذا اعتبرت المبلغ من المال الذى تجنيه من استثماراتك الناجحة مناظرا لطول رسالتك فإنك ستحصل على شيء يشبه ماتقصده أسواق المال بلندن، ومضاربو وول ستريت بتعبير "محفظة الأوراق المالية اللوغاريتيمية المثلى".

وهاك كيف تفلح المقامرة عمليا بمحفظة الأوراق المفضلة هذه: المنطق الأساسى هو أن توزع مراهناتك قدر المستطاع، بمعنى آخر: لاتضع كل بيضك فى سلة واحدة. والعلة وراء ذلك أن تبقى مشتركا فى الرهان (ورابحا كما تأمل) لفترة طويلة، إذ لو كانت كل رهاناتك فى نفس المكان وخسرت فى بداية الأمر (فقد يصادفك حظ عاثر للغاية) فلن يتبقى لديك رصيد للدخول فى الرهان التالى. وكما هو الحال فى موضوع قنوات الاتصال ستشمل بعض المراهنات مبالغ ضخمة من المال، وبعضها - على عكس ذلك ينبغي أن تكون قليلة، فكيف نحدد بالضبط حجم استثماراتنا؟

هب أنه يروق لك كمقامر متمرس أن تلعب بأمان ولفترة طويلة. أنت تود أن تستثمر أموالك لعشرين عاما، ويهمك الحصول على عائد سنوى، إذ تهدف إلى تكديس أموالك على المدى الطويل (ومن ثم يمكنك قضاء شيخوخة هادئة، مع معاشك أيضا) فها هنا ماتخبرنا به نظرية المعلومات (فى الواقع سيكون لديك غالبا ناصح فى الشئون المالية، يتولى عنك التفكير والحسابات ثم الاستثمار، غير أنني أود أن أبين لك أى نوع من الحسابات سيجريها ـ وتذكر جيدا أنه يحصل على نسبة، فإذا أجريتها بنفسك فسيكون ذلك أفضل فى موقفك المالى النهائى.

فلننظر إلى أعلى عشر شركات حاليا فى سوق لندن للأوراق المالية FTSE[1] والمرجح أنها ستبقى من ضمن أعلى مائة شركة لفترة مديدة ولن ينحدر موقفها المالى قريبا. ولنفترض أن لديك ١٠٠٠ دولار ترغب فى استثمارها فى هذه الشركات العشر. أنت تريد ـ بداية ـ تقدير احتمالات أن تحرز هذه الشركات عائدا موجبا لك، بمعنى أن تربح من خلال استثمارك بها. ولتقدير هذه الاحتمالات (ولن يتطوع بإعطائها لك أحد) بوسعك النظر الى أدء الشركات السابق، بالإضافة الى ظروف السوق واستراتيجياته الراهنة، وكلما صح استقراؤك للمعلومات العامه المتاحة عن الشركة، كلما ارتفعت قدرتك على تقدير الاحتمالات بصورة أدق، وبالتالي انتعشت أمالك فى استخلاص استراتيجية رهان محمودة. وتلك هى وظيفة محللى سوق الأوراق المالية طوال الوقت، والتى ينفقون فيها ثمانين ساعة أسبوعيا (وعلى عهدة صديق من ثقاتى فإن هذا الرقم قد ارتفع حاليا إلى ٩٠ ساعة في الأسبوع). على أية حال، وحتى على المستوى الأساسى فقط من البحث والاحتمالات التقريبية تظل فرصتك باقية فى تحقيق ربح بتوزيعك لاستثماراتك طبقا لبحث شانون.

وقد تعلو قيمة أسهم الشركة فى بعض الأوقات وتهبط فى أوقات أخرى، أى ستقع تقلبات مالية فى السوق بالطبع، ولكن اذا أقامت الشركة مالياتها واستراتيجياتها

---

(١) FTSE هو اسم مؤشر من أكبر مؤشرات الأسهم فى بورصة لندن ويضم أسهم أشهر ١٠٠ شركة بريطانية. بدأ العمل به من عام ١٩٨٤. (المترجم)

على أسس راسخة وبقيت أعلى ١٠٠ شركة فى قائمة سوق لندن على اتجاهاتها الإيجابية السائدة، فانها ستحقق صعودا على المدى الطويل، ومن ثم ستخرج فى النهاية رابحا.

وباستعمال هذه المعلومات العمومية المتاحة للجماهير، باستطاعتنا تقدير احتمال أن تحقق شركة ما نسبة ٣٪ ارتفاعا فى العام القادم . وليس هذا بالأمر العسير كما قد يلوح للوهلة الأولى طالما أننا لانتوخى إلا تقديرات تقريبية، فإذا ماكانت قد حققت مايربو على ٣٪ سنويا عبر آخر ٥٠ سنة، وتوقع المحللون أن تحقق نسبة ١٠٪ فى العام القادم، فاحتمال تحقيقها لنسبة ٣٠٪ عالية لدرجة طيبة. وبهذا الأسلوب بإمكانك تقدير احتمالات العائد من أية شركة.

لاحظ أن ثورب لم تكن لديه مشكلة تقدير الاحتمالات فى أثناء لعبة البلاك جاك، حيث إن مجموعة النتائج المحتملة معروفة جيدا، وبقراءة أوراق اللعب كان قادرا على إعادة حساب الاحتمالات. وفى الحقيقة كان هذا هو السبب بالضبط وراء اختيار ثورب للعبة البلاك جاك دون الألعاب الأخرى، مثل الماكينة ذات الثقب[1] فمع هذه الماكينة مامن معلومات مسبقة يمكن استخدامها فى التنبؤ بالنتيجة التالية، بينما كان ثورب خلال لعبة البلاك جاك قادرا على تقدير الاحتمالات المستقبلية باطلاعه على الأوراق السابق كشفها ومن ثم تعديل استراتيجيته فى المراهنة بطريقة سديدة . وتعقب أداء شركات الأعمال يشبه تعاقب أوراق اللعب التى يتم كشفها.

وهناك احتمالية ضئيلة ألا تكون لعبة البلاك جاك مألوفة لدى القارئ (وفى هذه الحالة فإننى أحثك على تحاشيها) ومن ثم فسأعرضها عرضا موجزا: فالهدف الأساسى من اللعبة هو أن تمسك فى يدك عددا من الأوراق مجموع نقاطها أقرب مايكون من ٢١ نقطة أى أقرب مما لدى موزع الورق (بشرط ألا تتجاوز نقاطك رقم ٢١، وإلا خسرت). ولكل ورقة رصيد معين من النقاط، والموزع يقدم الأوراق حال طلبها منه. ولادخل

---

(١) آلة قمار لها شاشة تحتوى على ثلاث بكرات أو أكثر تدور حين الضغط على زرها ويتوقف الربح أو الخسارة على العدد الذى تستقر عليه البكرات. (المترجم) .

للاعبين الآخرين ممن حول المائدة، إلا أن بإمكانك استظهار أوراقهم وتعديل حساباتك للاحتمالات بناء عليها، فالأوراق بيدك تلعب ضد أوراق الموزع فقط . ولتحديد ما إذا كان سيطلب ورقة أخرى أم لا، استند ثورب إلى معادلة شانون بعد وضع قيمة الاحتمال التى كان يحسبها.

دعنا نفترض أننا نلعب فى مواجهة موزع الأوراق فى ناد للمراهنات بلاس فيجاس، وأمامنا ثلاث ورقات مجموع نقاطها ١٥، والموزع يسألنا ما إذا كنا سنطلب ورقة أخرى . سنفكر ماهى فرصة أن تكون الورقة التالية ستة أو ذات رقم أقل؟ وبداهة، إذا ماكنا نرى سلفا ٤ أوراق برقم ٦، ثلاثا تحمل الرقم ٥، وثلاثا برقم ٤ وثلاثا برقم ٢ وثلاثة آسات، ستتوفر لدينا معلومات أكثر من شخص أخر لم يكن يعير اللعبة أى اهتمام. وفى حين أن شخصا أخر قد يقدم على المخاطرة فإننا ندرك منطقيا تدني فرصة سحب ورقة لاتأخذنا إلى أعلى من العدد ٢١ . وهكذا فان معادلة شانون تصوغ ذلك لنا وتومئ إلى الوقت الملائم للإقدام على المخاطرة أو الإحجام عنها.

ولعل تخطي عتبة نادى المراهنات - فى حد ذاته - ينطوي على مخاطر جمة، وخاصة إذا كنت قد اقترضت مالا من المافيا لتقامر به . لذا، دعنا نفكر فى تسلسل أحداث أكثر أمانا، فلماذا ياترى نلجأ لنوادى الرهان إذا كانت المقامرة مرخصا بها قانونا فى أسواقنا المالية على مستوى العالم ؟ (وإنى لأستميح القارئ عذرا لأسلوبى الساخر قليلا، حيث أجلس هنا فى أكتوبر ٢٠٠٨ أرقب معاشي وهو ينفتت وكأنه تلقى ضربة مطرقة قاصمة). بوسعنا أن نمد استعمالنا لمعادلة شانون إلى سوق الأوراق المالية. فلنفترض أن شركة ما لديها فرصة بنسبة ٥٥٪ أن يصل عائدها إلى ٣ ٪ سنويا، وأخرى تصل فرصتها إلى ٦٠٪ وهكذا . فكيف ياترى نوزع استثماراتنا ؟ بداهة سيكون أفضل استثمار تناسبيا، فتخص بالأفضلية الشركة ذات أعلى عائد متوقع، وتضع مبلغا أقل فى التالية لها فى الأفضلية وهلم جرا . وإذا كان لدى شركة ما فرصة أن تغل ذات العائد الإيجابى على رأس مالك بضعف فرصة شركة أخرى فعليك أن تستثمر فى الأولى ضعف ما تستثمر فى الثانية . وماذا عندئذ سيكون العائد على استثماراتك

وكم سيبلغ؟ إن العائد المتوقع سيعادل بالضبط - ولك أن تعجب - نتيجة تطبيق معادلة شانون للمعلومات ! ترى كيف يمكننا تفسير ذلك ؟

بودي أن أضرب مثلا ماديا، حتى أوضح لك كيف يمكنك أن تربح فى حياتك العملية بصورة موضوعية حقا . هب أنك تستثمر فقط فى شركة من شركات القمة، لديها فرصة بنسبة ٥٥٪ أن تدرّ عليك ربحا فى ظرف يوم واحد. ولنقل إن معك ١٠٠٠ دولار تبغى استثمارها. تقول نظرية المعلومات أولا وقبل كل شيء - إنه لا ينبغي أن تستثمر أكثر من ضعف النسبة المئوية مطروحا منها ١٠٠٪ أى (٢×٥٥-١٠٠) من إجمالى أموالك أى ١٠٪ وهو مايعادل ١٠٠ دولار . والعلة وراء ذلك هو أنك محتاج إلى خط رجعة إذا ماخسرت مالك، فأنت تود أن تظل قادرا على مواصله اللعب . فمواصلة اللعب هى السبيل الوحيد كى تظفر بغنيمة لابأس بها .

لقد استثمرت الآن ١٠٠ دولار، وتقول نظرية شانون للمعلومات إن المعدل الذى ستزيد به أرباحك هو ٠,٥٪ ويعنى هذا أن من شأنك أن تربح ٥٠ سنتا. وفى اليوم التالي، إذا لم تتبدل الأمور فستحصل أيضا على ٠,٥٪، بيد أنك بدأت الآن بمبلغ ١٠٠ دولار، ٥٠ سنتا وهكذا. لن تلاحظ فرقا كبيرا فى البداية - غير أن النمو يأخذ شكل دالة أسّية (كل الدوال الأسّية تبدأ بشكل شبه خطى، ولهذا السبب لاتبدو جذابة فى البداية). وبعد عام أى ٣٦٥ يوما، سينتهى الأمر بتضاعف أموالك لتبلغ ٢٠٠ دولار، وفى السنة التالية ستحصل على ٤٠٠ دولار ثم ٨٠٠ دولار . وبعد خمس سنوات سيصل المبلغ إلى ١٦ مرة قدر ما بدأت به.

وتبدو وتيرة الزيادة أفضل كثيرا من وتيرة تصاعد التضخم الذى يلتهم رأسمالك إذا ماتكاسلت واحتفظت به راكدا فى مصرفك دون استثماره.

قد لاتبدو الأرباح فى الفقرة السابقة هى الأخرى بالضخمة، ولكن فلتتذكر أنك افترضت استثمارك لمبلغ ١٠٠ دولار فحسب كبداية. فماذا لو أنك استثمرت ١٠٠٠٠٠ دولار ؟ ستربح علاوة عليه ٠,٥٪ فى اليوم، الذى يبلغ فى هذه الحالة ٥٠٠ دولار، كل هذا دون أن تصنع شيئا، اللهم إلا المخاطرة واحتمال فقدانك لمالك (وهو احتمال ضئيل فى هذه الحالة). ستنبئنا معادلة شانون أيضا أنه لاينبغي لك أن تراهن على شيء غير مؤكد على الإطلاق

(فلا تشترك فى اليانصيب، طبقا لنصيحة كيلي). وإذا ساوت فرص النجاح ٥٠٪ فعليك أن تكون من الحكمة بحيث تمتنع عن المراهنة. ففى المتوسط لن تربح شيئا والأرجح أن تخسر كل شيء. والآن، دعنا نربط هذا الحديث عن أسواق المال والتأملات فى شئونها، بالباب السابق، أى بمفهوم (شبح ماكسويل). هل بوسعنا أن نستعمل الديناميكا الحرارية كى نوصف سلوك الأسواق - على وجه الإجمال - ونستخلص بعض الاتجاهات شديدة العمومية فى عالم المال ؟

هناك جانب واضح تؤثر به الديناميكا الحرارية على الأسواق. فسعر سلعة ما يحدده قانون العرض والطلب، فإذا شحت الموارد، فإن السعر سيرتفع. وكما رأينا تقضي الديناميكا الحرارية بأن مواردنا من الطاقة فى طريقها للنفاد بالإضافة إلى التسبب فى آثار ضارة بكوكبنا، ونحن نلمح هذه الملوثات فيما حولنا فى الواقع فى كل وقت ويمتد الأمر إلى التأثير على الاقتصاد بصفة عامة، إذ يرتبط سعر وقود السيارات بالنفط الذى يعتمد بدوره على احتياطياته وبالمثل على مدى توفره، فأبسط بادرة بالصراع فى الشرق الأوسط تقفز بأسعار الوقود العالمى عاليا.

ومهما يكن الأمر فالارتباط بين الديناميكا الحرارية والاقتصاد أوثق من ذلك، فسلوك الأسواق المالية نفسه يعكس عن قرب - بمعنى ما - سلوك المنظومات الفيزيائية فى الديناميكا الحرارية. وهناك قانون عام فى الشئون المالية يتردد كثيرا : فى سوق شفاف، ليس هناك ربح دون مخاطرة وأى شيء يستحق أن تقوم به طبقا لهذا القانون، لابد أن يرتبط به احتمال عال للفشل. أما الأمر المؤكد الوقوع فتيقن من أن العائد منه سيكون ضئيلا.

ويلوح ذلك شديد الشبه بالمقولة : كى تنتج شغلا ميكانيكيا نافعا، تأهب لفقدان بعض الحرارة. ويخبرنا قانون الديناميكا الحرارية الثاني أنك ترفع من درجة حرارة البيئة المحيطة عند بذل الشغل الميكانيكي، وذلك مرادف للحقيقة القائلة بأن البيت ينفق مالا أكثر مما يقتضي الحال، وبعبارة أخرى كثيرا مايكلف الربح فى المتوسط مايربو

على مـاتكسب . دعنا نرجـع الى لعبـة الرهان البسـيطة فى نادى المراهنات لوضـع هذه النقطة فى صورة أوضـح، ونحب أن نوضـح أن المال هنا سيلعب دور الطاقة.

ولكن .. فلنتريث لحظةستقول كيف يمكن لذلك أن يكون، إذا كان المال - بخلاف الطاقـة - لايخضـع لمبـدأ الحـفظ ؟ فـيمكن أن يتـولد المال من لا شيء فى حـين لايمكن للطاقة ذلك كمـا رأينا، فلو أن لدينا فى العـالم أناسـا أكثر، فسيتم تداول أموال أكثر، وبالتالي مـن الواضـح أن الأمـوال ليست بالمقدار الثابت. على أية حـال لو افتـرضنا أن شـخصا يقامر ضد النادى وهو بمنزله فسيكون مقدار الأموال الإجمالى ثابتا. قد يكون المال فى جـيب الشـخص وقد يكون داخـل خـزينة النادى، أى أنه سـيكون فى مكـان مـا. لذا فالمال ثابت فقط تحت هذه الظروف المحددة ويمكن مقارنته بالطاقة.

بوسعنا الآن أن نطرح قواعد المراهنة فى النادى، بالطريقة التى نحقق بها التماثل مع قوانين الديناميكا الحرارية أولا وقبل كل شىء، فإن أفضليات المراهنات هى:

١ - "ليس بوسـعك أن تكسب المباراة" ويعني ذلك أنه إذا كان احتمال شـيء مـاهو الثلث مثلا، فإن عائدك سيكون على أقصى تقدير ثلاثة أمثال ماتضعه فى استثماراتك، فإذا وضـعت عـشرة دولارات فسـتربـح - كحـد أقصـى - ثلاثين دولارا، ولكن إذا ارتفع الاحتمـال إلى الثلثين (٦٧٪ وهى نسبة رهيبة) فستخسر. فباستـمرارك فى اللعب لن تكسب - فى المتوسط - أى شىء . وذلك هو التماثل التـام مع قانون الديناميكا الحرارية الأول : ليس فى استطاعك الحصول على شىء ما من لاشىء.

بل إن القانون الثانى فى المراهنات أكثر إحباطا، فنوادي المراهنات مصممة بحيث:

٢ - لايمكن حتى الوصول إلى نقطة التعادل، بما يعنى أنك لن تصل أبدا إلى تسـاو عـادل مابين احتمـال الحدوث واحتمال عدم الحدوث، بالإضـافة إلى أن عليك فى النادي أن تدفع رسمـا للدخول ورسـما لتلعب، وستبتا ع على الأرجح بعض المشروبات وستبذل إكراميـات للعاملين بالنادي مدة بقائك . وكل هذا يؤكد حقـيقة أن المال ثابت المقدار ولكنه يتجه من جيبك إلى خزينه النادى وليس العكس.

ويماثل هذا فى الديناميكا الحرارية تزايد الإنتروبيا، إذ تسري الحرارة دوما من الجسم الساخن إلى البارد ولايحدث العكس مطلقا (ويمثل اللاعب فى نادي الرهان الجسم الساخن، ويماثل النادي الجسم البارد، وهو مايحدد اتجاه (سريان المال).

والآن إلى قانون الديناميكا الحرارية الثالث، والذى له - بطبيعة الحال - مايماثله فى عملية المراهنة، فالقانون ينص على أنه:

٣- ليس بوسعك أن تنسحب من المباراة، وسأترك للقارئ أن يترجم معنى هذه المقولة بنفسه، ويكفي أن المقامرين عادة مايواصلون المقامرة حتى يصلوا إلى النهاية المريرة. قوانين المراهنة تشابه تماما قوانين الديناميكا الحرارية (وقانونها الثالث هو الذى ينفي إمكانية بلوغ الصفر المطلق، وبمصطلحات المقامرة يعني هذا أن الجسم صار أبرد من أى شيء آخر - وبصفة خاصة من النادي نفسه) يمكننا تلخيص ماسبق مناقشته حتى الآن فى القول بأن معادلة شانون عن أقصى سعة لقنوات الاتصال، ومعادلة بولتزمان عن الإنتروبيا الفيزيائية، ومعادلة كيلي فيما يخص تعظيم الربح كلها تعني معادلة واحدة.

على كل حال، فالأمر الذى يثير الدهشة بحق، هو أن المراهنة يمكن النظر إليها باعتبارها استعارة مجازية لتطور الحياة ذاتها، فيمكننا أن نفكر فى التحورات العشوائية على أنها استراتيجيات المقامرة المتنوعة، ذات احتمالات النجاح المختلفة. وهو بالضبط ماحلله عالم البيولوجيا فريدريك واربيرتون Frederic warburton فى واحدة من أوراقه البحثية.

يرى واربيرتون التطور كمباراة بين الفرد (المقامر) والبيئة المحيطة (نادي الرهان). والربح بلغة التطور يعني أن الحياة ستتطور بصرف النظر عن البيئة، والخسارة معناها نهاية الحياة. والمباراة تجرى كما يلي : الفرد ينجب نسخا من ذاته، ولكن النسخة ستختلف عنه بالطبع اختلافا يسيرا باعتبار التحورات العشوائية، وقد تنبع هذه التحورات من البيئة (من الأشعة الكونية مثلا) أو من خطأ ما خلال عملية النسخ.

وتفضي هذه التحولات إلى تبدل يسير فى خصائص الأفراد الجدد، الذين تختبرهم الطبيعة والبيئة المحيطة. ويتوقف عدد الأفراد الناتجين بشكل كبير على استراتيجية المقامرة المتبعة وينبغي أن يطعم كل فرد تم إنتاجه وينمىّ، وحيث إن الموارد محدودة فعلينا أن نختار العدد الذى يلزم إنتاجه تمشيا مع هذه المحددات. والأفراد المنتجون إما أن يتخطوا اختبار التطور ثم يتوالدوا فيما بعد (أى إنهم يولدون أرباحا) وإما أن يخفقوا ويموتوا (وهو مايناظر خسارة المال المستثمر) ويعرف هذا فى علم الاقتصاد بقاعدة زيادة العائدات. ومن الجلى الآن أن أولئك الباقين على قيد الحياة يربحون أكثر فأكثر، بما يعني أن استراتيجيتهم توائم البيئة أفضل وأفضل ومن ثم فالحياة ترفع الربحية ويغدو التطور بمثابة لعبة مقامرة.

ومهما يكن الأمر، فدائما ما تكون هناك عثرات، وكلما زادت ربحية الحياة كلما تناقصت ربحية البيئة (حيث إنها تتناسب طرديا مع الإنتروبيا، وبازدياد إنتروبيا البيئة، تزداد صعوبة انتشار الحياة أكثر وأكثر) ويناظر هذا ازدياد أرباحك فى نادي المراهنات (المناظر للبيئة)، الذى يؤثر بالضرورة بدوره على أرباحك على المدى الطويل من خلال تداعيات متعددة، فقد ينقص من الإنفاق أو يفرض ضريبة كنسبة مئوية من أرباحك أو ربما يجمد الأمر برمته . ولما كان هناك رسم أولى مفروض حتى على اللعب، فترى كيف تتجسد القاعدة الثانية للمراهنات، وهى عدم السماح لك بالوصول حتى لنقطة التعادل.

وقد سلف القول بأن بوسعنا أن نرى الحياة بمثابة (شبح ماكسويل) الذى يحاول الإبقاء على الإنتروبيا منخفضة محليا، بينما يزيد إنتروبيا البيئة المحيطة به، وفى الحقيقة، وكلما رأينا، كلما احتفظنا بمستوى الإنتروبيا منخفضا، كلما داومنا على زيادة الإنتروبيا الكلية فى المنظومة . فهل يمكن أن تتخذ زيادة الإنتروبيا الكلية مؤشرا على الحياة؟ وهل يقدر لنا أن نقيس محتوى الكواكب الأخرى من الإنتروبيا لنحكم على إمكان وجود الحياة فوقها؟

ياله من سؤال شائق ! والإجابة هى أن الإنتاج الإجمالى من الإنتروبيا، على أهميته، قد لا يمثل العامل المؤثر الوحيد. فمن بين كل كواكب المنظومة الشمسية وأقمارها نجد لدى عطارد أعلى إنتاج من الإنتروبيا لكل وحدة مساحة من سطحه، ولكنه - على حد علمنا - خلو من الحياة. وتكمن العلة - على الأرجح - فى خلو عطارد من غلاف جوى يهيئ وسطًا تنتقل عبره المادة، وهو الأمر المحورى لحدوث العمليات الحيوية.

وتتقاسم الأرض وقمرها المركز الثانى من حيث مستوى إنتاج الإنتروبيا، والذى يعادل على وجه التقريب ربع إنتاج عطارد. ولكن القمر هو الآخر يخلو فعليا من جو (فتثاقله أضعف من أن يجذب الذرات نحو سطحه) مما يجعل الحياة عليه عسيرة، أما بقية الكواكب والأقمار فإنتاجها من الإنتروبيا يقل كثيرا (والمريخ هو الرابع فى الترتيب يبلغ إنتاجه منها ثلثى إنتاج الإنتروبيا بالأرض أو القمر).

وهكذا فإن إنتاج الإنتروبيا مرتبط بالحياة، ولكنه يمثل وجها واحدا للقصة، فهناك بدائل أخرى أكثر أساسية. وربما ينبغي علينا أن نوسع من تعريفنا للحياة، فنتعرف عليها آنذاك في أماكن أخرى، ورغم أن توصيف كل ملامح الحياة أمر متناهى الصعوبة (ترى هل تعتبر الفيروسات كائنات حية أم لا ؟) فإن إنتاج الإنتروبيا يبدو مؤشرًا وحيدا لابأس به. فى أماكن أخرى، مع صعوبة توصيفنا لملامح الحياة فهل هناك ملمح مهم أخر للحياة، وهو تطورها نحو التعقد. فلننظر هل باستطاعتنا أن نترجم هذا الميل إلى كميات بشكل أكثر دقة بناءً على مناقشتنا السالفة، ودعنا نعرف التعقد بالفارق بين الحالة القصوى من الشواش (الفوضى) (أى أقصى إنتروبيا) وبين الإنتروبيا الحقيقية بالنسبة للبيئة المحلية (وقد اقترح هذا التعريف عالم ديناميكا حرارية يدعى بيتر لاندسبرج) ويوثر الانتخاب الطبيعى الكائنات الحية التى تقلل الإنتروبيا إلى الحد الأدنى بالنسبة للبيئة (وهى بمثابة المقامر الأفضل طبقا للمماثلة التى اتبعناها فى هذا الباب) أى تلك الكائنات التى لا تنحو للانقراض، ومن ثم فالتحور سيقود فى الختام إلى مستوى أقل من الإنتروبيا المحلية وهو ماينجم عنه زيادة التعقد فى أشكال فى الحياة (لأننا نخصم من الإنتروبيا الكلية القصوى للحصول على هذا التعقد). ولعله مما تجدر

ملاحظته أن ليس كل أشكال الحياة يزداد تعقدها مع الزمن، فبعضها لايتعقد، في حين يفلح العديد كثيراً في البقاء كما هو لمدد طويلة (صنوف من البكتريا على سبيل المثال)، غير أن الأشكال الأكثر تعقيدا تظهر عبر الزمن، وتلكم الزيادة في بعض الأشكال هي مانحاول تفسيرها.

إن التعقد البيولوجي في الحياة مع مرور الزمن ينظر إليه الآن كتداعٍ مباشر للتطور: التحورات العشوائية والانتخاب الطبيعي. وفي الحقيقة فقد طرح ريتشارد داوكنز عالم أكسفورد البيولوجي الشهير في عدد من أبحاثه الشائعة بكل حماس، أن التطور هو النظرية الوحيدة لدينا التي يمكنها تفسير كل أشكال التعقد البيولوجي فيما حولنا. وبما أننا قد أقررنا بأن الحياة قد تصل إلى الحد الأعلى من إنتاج الإنتروبيا، فربما يعني هذا أنها تصل بزيادة التعقد بالمثل إلى حده الأقصى . فالتعقد البيولوجي بمثابة أرباح المقامر الناجح، إذ يمضي في نفس خطة لعبه.

وعلاوة على تحليل المراهنات والتأملات في الشئون المالية، وصياغة قواعدها الأساسية، فباستطاعتنا عبر مثال أخر أن نرى كيف تبدو المعلومات أكثر الأطر طبيعية كي تناقش في نطاقها مثل هذه الأفكار . وسنبسط هذا المدخل مجددا في الباب القادم حيث نناقش العلاقات الاجتماعية وتأثيراتها المتبادلة والتي تبين كيف نحيا ومانوعية حيواتنا.

النقاط المحورية فى الفصل السادس :

- من الممكن استعمال منطق شانون لاستنباط استراتيجيات الرهان فى سبيل تعظيم الأرباح منه.

- إذا مارغبت في الخروج رابحا من الرهان فى ناد للمراهنات، فعليك أن تراهن طبقا لاحتمالات نتائج المقامرات المختلفة، ويتيعن أن يناظر الاحتمال الضعيف وضعك لمبالغ أقل.

- المقامرة على حدث عشوائى تماما هى أسوأ مراتب المقامرة ، ولن تجنى أية أرباح على المدى الطويل باعتبار أنك ستربح لنصف مدة المقامرة وتخسر طوال النصف الآخر.

– إذا، اتبعت منطق شانون، فسيكون العائد عن استثماراتك طبقًا لإنتروبيا شانون، وفى عالم المعاملات المالية يعرف هذا الأسلوب فى توزيع رهاناتك "بحقيبة الأوراق المالية اللوغاريتمية المثلى"، ويستعمل على نطاق واسع كأساس لاتخاذ القرارات فيما يخص الاستثمار.

– إنما الحياة شكل من أشكال المقامرة، حيث تفوز الحياة إذا نجحت فى الانتشار. وترتبط درجة فوزها بطول الفترة التي تنتشر خلالها.

(٧)

المعلومات الاجتماعية

عمق علاقاتك، بل ابذل حياتك دون ذلك

كلنا يعرف من هو ذلك الفتى، ويغبطه. إنه هذا الشخص الذى كان أكثر الفتيان شعبية فى فصله الدراسى، المتفوق الرائد فى مدرسته، الذى هو روح أصدقائه وحياتهم، الذى كلما احتاج شيئا ما، يبدو أنه يتحقق له فى التو واللحظة. إنه المرء الذى (نحب أن نكرهه).

كيف عساه يحقق كل هذه الإنجازات، بينما نتعثر نحن فى دراستنا ؟ وبينما نكدح نحن طوال اليوم فى العمل، نجد صاحبنا وقد اقتنى منزلا فخما، وسيارة فارهة، وحظى بأفتن النساء، زوجة تغرقه فى بحر من السعادة المفرطة. إن معظم الرجال على أتم استعداد لفقدان ذراعهم اليمنى لقاء النزر اليسير من هذه الحياة الساحرة!

كيف يا ترى يحقق كل ذلك ؟ ليس بوسعي على وجه اليقين أن أخبرك بطبيعة الحال (لو كان ذلك بمقدوري، لحظيَ كتابي المقبل بلقب أكثر الكتب مبيعًا دون أدنى جهد منى)، ولكن يجب ألا تتملكنا الدهشة، إذا وجدنا الناس ذوي الأصدقاء الكُثر، والعلاقات القوية يحققون من النجاح أكثر من أولئك ذوي الأصدقاء والصلات الأقل. فنحن نعرف - بداهة - أن هؤلاء الأناس بفضل محيطهم الواسع من الاتصالات يحظون بميزة تعدد الفرص أمامهم، يختارون من بينها ما يشاؤون.

وبالمثل، ليس من دواعي الدهشة أنه كلما زادت العلاقات البينية فى المجتمع، كلما ارتفعت قدرته على التواؤم مع الأحداث المتحدية التى تعرض له، بأكثر من تلك المجتمعات المتشتتة والمنعزلة . وفى بداية الأمر لايبدو من الأرجح أن لتوثق العلاقات المتبادلة صلة بنظرية شانون للمعلومات . فما عساها - فى الحساب الختامى - أن تكون العلاقة بين إرسال رسالة عبر خط تليفونى، وبين رد فعل المجتمعات وسلوكها إزاء الأحداث؟

إن أول مفتاح يُعتدّ به للدور الذى قد تلعبه المعلومات فى علم الاجتماع، قد جاءنا فى عام ١٩٧١ عن طريق الاقتصادى الأمريكى الحائز على جائزة نوبل "توماس شيلنج[١] Thomas schelling.

كان علم الاجتماع فى زمانه موضوعا نوعيا غير كمىّ إلى حد كبير (وما زالت تلك الصفة تغلب عليه). على أية حال فقد وضح كيف يمكن الاقتراب من تحليل النماذج الاجتماعية وتحويلها إلى كميات مثل العمليات الأخرى، بنفس الأسلوب حيث تكون المعلومات هى كلمة السر المحورية.

وشخصية شيلنج شخصية طريفة . فقد خدم فى مشروع مارشال (مشروع مساعدة أوروبا على النهوض الاقتصادى بعد الحرب العالمية الثانية)، وفى البيت الأبيض، وفى المكتب التنفيذى التابع لرئيس الولايات المتحدة الأمريكية من ١٩٤٨ إلى ١٩٥٣، بالإضافة إلى توليه لسلسلة من المناصب فى المؤسسات الأكاديمية المرموقة (ويشمل ذلك جامعتى ييل وهارفارد).

وأشهر إنجازات شيلنج هو عمله فى الصراعات بين الأمم والدول، وبصفة خاصة تلك التى تقتني الأسلحة النووية، والفكرة المحورية لديه هى "الالتزام المسبّق"، إذ يرى أن

---

(١) توماس كرومبى شيلنج (١٩٢١ -) اقتصادى أميركى وأستاذ فى الشئون الخارجية والأمن القومى والاستراتيجية النووية والسيطرة على أسلحة الدمار - حائز على جائزة نوبل فى الاقتصاد عن عام ٢٠٠٥ . (المترجم)

بمقدور أحد الأطراف فى صراع ما أن يوطد مركزه الاستراتيجى بإبطال بعض البدائل المتاحة لديه ليضفى على تهديداته موثوقية أكثر، والمثال العسكرى التقليدى لذلك هو الجيش الذى يحرق جسوره أى خطوط رجعته بما يستحيل معه تقهقره.

عند ذلك يوقن أعداؤه أنه لن يستطيع الانسحاب للخلف وبالتالى تغدو استراتيجيته أكثر محدودية، فهم يعلمون أنه سيقاتل حتى النهاية، وهو مثال كلاسيكى على سياسة حافة الهاوية.

على أن "شيلنج" قد مضى إلى ما هو أبعد من ذلك، فقد تحقق من أن دراسة الصراع يمكن أن تؤدى إلى امتداد مفهومه إلى ما هو أبعد كثيراً من مجرد الصراع العسكرى، وطبق تحليلا مشابها على الصراعات الفردية الداخلية، فتطرق إلى أن المشكلة هى أن كل شخص يعاني - إلى حد كبير - من انقسام شخصيته حيال المسائل المختلفة. فأحد جوانب شخصيتك - مثلا - قد يتوق بشدة إلى أن ينحف قوامك فتغدو أكثر رشاقة، أو أن تقلع عن التدخين، أو أن تعدو كل يوم لمسافة ميلين، أو أن تستيقظ مبكراً للذهاب لعملك. ومن ناحية ثانية قد ينزع جانبك الآخر إلى تناول المزيد من الحلوى أو لفافات السجائر، أو يمقت التمارين الرياضية ويميل للنوم. وكلا جانبى الشخصية قائم، وميال بنفس القدر نحو اقتفاء أثر رغباته. ولكنهما لا يوجدان فى ذات الوقت، ويعتمد أى الجانبين سيربح المعركة على الاستراتيجية التى تتبعها كلتا الشخصيتين. ومن وجهة نظر "شيلنج"، بمقدورنا أن نعزز من فرصة أحد الجانبين فى الفوز بالالتزام بخطة صارمة، يجد الجانب الآخر صعوبة فى التواؤم معها. وهكذا، فى حين أن الجانب الثانى يهمس مثلا : أنا أود البقاء فى الفراش هنيهة أخرى"، يستطيع الجانب الأول أن يقابل ذلك بالقول : "ولكني أدفع ٧٠ دولاراً أسبوعيا لقاء عضويتي فى صالة التدريبات الرياضية، فكيف أغفل برنامج تمرينى الشخصى الصباحى؟ "أو" علىّ عدم الاحتفاظ بلفافات سجائر بالمنزل، وعدم اقتناء سيارة والسير على الأقدام إلى مقر العمل بدلاً من ذلك". وكلها أمثلة مما أشار إليه "شيلنج" بتحريق كل جسورك".

وقد تكشفت أهمية دراسة الصراع ليس فقط فى الجانب الحربى بل وكذلك بالنسبة للأفراد، وكما سنرى عما قريب، عن تفهم سر تفكك المجتمع، وسيكون قوامها بطبيعة الحال، مفهوم المعلومات. وليست فكرة استعمال نظرية المعلومات فى الدراسات الاجتماعية بالشىء الجديد، ويمكننا تلمس جذورها فيما قبل "شيلنج". وفى الحقيقة، كان استعمال الطرق الإحصائية فى العلوم الاجتماعية هو ما ألهم "بولتزمان" تطبيقها داخل الفيزيائيات من أجل الخروج بمعادلته عن الإنتروبيا. وبطبيعة الحال فإن التطبيق المباشر للأساليب الإحصائية المستعملة فى نظرية المعلومات يمثل تحديا أكبر بسبب الطبيعة المعقدة فى أى مجتمع بشرى (أجل ... فالمجتمع البشرى أكثر تعقدا بكثير من أية منظومة فيزيائية. إلا أن لها نفس البناء والأساس . وكل كائن بشرى، إذا ما قارناه بسحابة بسيطة من الذرات (وهى نموذج نمطى يكثر استخدامه فى الفيزيائيات) يضيف شيئا ما إلى تنوع الجنس البشرى، حيث يمكن أن يشكل بذاته استراتيجية معقدة مستقلة ...

وتظهر المعلومات ذاتها فى السياق الاجتماعى بأثواب متعددة : العلاقات بين الأفراد، الأفعال، حالات الأشخاص الفرادى، قدرة المجتمعات على معالجة البيانات، الخ. وكل هذه الأنواع من المعلومات تلعب دورا فى سلوكيات المجتمع.

وهناك فكرة مهمة ألمحنا إليها فى الأبواب السابقة، بيد أننا أرجأنا تقديمها بدقة حتى الآن، وهى "المعلومات المتبادلة"، فلهذا المفهوم أهميته فى استيعاب تنويعة من عدد من الظواهر فى الطبيعة وسيكون هو المفتاح حينما نفسر الأصل فى بنية أى مجتمع، "والمعلومات المتبادلة" هو التعبير الرسمى المستعمل لوصف الموقف حينما يتبادل حدثان (أو أكثر) المعلومات عن بعضهما البعض.

والمعلومات المتبادلة بين الأحداث تعني أنها لم تعد مستقلة عن بعضها، إذ أن أحدهما سيخبرك بشىء ما عن الآخر. فعندما يسألك أحدهم - مثلا - إذا ما كنت ترغب فى شراب من المقصف، فكم مرة أجبت فيها قائلا : "سأتناول شرابا إذا تناولت أنت"

تعني هذه المقولة أنك تربط أفعالك مباشرة بأفعال الشخص الذى يدعوك، إذا ما تناول شرابا هو فستتناول أنت، وإذا لم يشرب فلن تشرب. فخيارك - أن تشرب أو لا تشرب - مقرون بالكامل برغبته. ومن ثم فبلغة نظرية المعلومات، لدى كليكما أقصى تبادل للمعلومات.

وبصورة رسمية أكثر، يمكن صياغة اكتمال المعلومات المتبادلة كمؤشر للاستدلال، فالشيئان لديهما معلومات متبادلة إذا أمكن أن تستدل بمجرد نظرك إلى أحدهما - على شيء من خواص الآخر. ففى المثال السابق، إذا ما رأيت أمامك شرابًا، فيعني هذا منطقيا أن الشخص الذى يدعوك للشراب لديه أيضًا زجاجة قبالته. (علما بأنك لا تشرب إلا عندما يشرب جارك).

وبطبيعة الحال ليس تبادل المعلومات عن الأحداث مثاليا دائما، فقد يكون أحيانا مضللا، فأنت عادة وليس دائما ستتناول شرابا إذا كان صديقك يشرب. وفى هذه الحالة تضعف إمكانية الاستدلال بينكما .

وكلما تناولنا مسألة المعلومات المتبادلة، فإننا حقا نتساءل كم من المعلومات لدى شخص أو شيء أو فكرة، عن شخص أو شيء أو فكرة أخرى . ففى مثال الاتصال الهاتفى يتقاسم أليس وبوب معلومات متبادلة. فبعد أن اتصلت ببوب، باتا يشتركان فى ذات الرسالة. وعندما يخبرك بوب بمحتوى الرسالة - بافتراض الحد الأقصى من المعلومات المتبادلة بين أليس وبوب، فستعلم أى رسالة بعثت بها أليس دون أن تسألها. وفى غير حالة الحد الأقصى من المعلومات المتبادلة (كأن يكون بوب قد نسى جزءًا منها) يمكننا الاستدلال على الرسالة بنجاح جزئى فحسب.

وعندما يأتي الأمر إلى الدنا، فجزيئاته تشترك فى المعلومات عن البروتين الذى تحمل شفرته، وخيوط الدنا المختلفة تتشارك فى المعلومات عن بعضها البعض أيضا (ونحن نعلم أن A يلتصق فقط ب G وأن C يلتحم فقط ب T)[1] وعلاوة على ذلك فإن

---

(١) جانب الصواب المؤلف فى هذه العبارة الخاطئة، فالصحيح ما سبق ذكره بالباب الرابع من أن A تتآلف مع T، C تتآلف مع G وكما سيتكرر ذكره فى الباب التاسع. (المترجم)

جزئيات دنا الأفراد المختلفين تشترك أيضا في ملعومات بعضها البعض (فالأب والابن مثلا يشتركان في نصف المادة الجينية بالدنا الخاص بهما، والدنا نفسه يشارك البيئة المحيطة المعلومات، حيث تحدد البيئة – عن طريق الانتخاب الطبيعي – كيف يتطور الدنا.

ويقوم التبادل المعلوماتي في الديناميكا الحرارية بين ذاكرة (الشبح) وحركة الجسيمات.

ويعتمد مقدار الشغل الذي يستطيع الشبح استخلاصه على قدر المعلومات لدى الشبح عن سرعة الجسيمات الفعلية، وفي استراتيجيات الاستثمار المالي يرتبط الربح المحقق حتما بمدى المعلومات التي تتشارك فيها مع الأسواق، مع نبذ المراهنة الجزافية جانبا. فإذا ما رغبت في معرفة كيف ستتحرك أسعار الأوراق المالية، فأنت محتاج إلى معلومات وافية عن السوق (وعادة ما يستحيل ذلك من الناحية العملية، بالنظر إلى تعقد المعلومات وحجمها الهائل). ونظرا لأن كل الأمور تتبادل التأثير مع بعضها البعض بدرجة ما، فإن التبادل المعلوماتي يحدث ببساطة في كل مكان.

وستكون الظاهرة التي نسميها العولمة، إحدى الظواهر التي سنحاول استيعابها هنا باستخدام التبادل المعلوماتي، وهي تعني اطّراد وتزايد الارتباطات والاتصالات بين المجتمعات المتباعدة، كما سنعرض لظاهرة اجتماعية أخرى وهي انقسام المجتمع إلى طبقات والآثار السلبية المترتبة على هذا التشرذم والطبقية.

وقبل أن نخوض في الظواهر الاجتماعية إلى أغوار أعمق، أراني في حاجة إلى تفسير مفهوم مهم في الفيزياء وهو المسمى بالتحول الطوري phase transition. ويحدث التحول الطوري بمعناه الواسع في منظومة ما عندما يتضخم حجم المعلومات التي تتقاسمها مكوناتها المفردة (كغاز داخل صندوق، أو قضيب حديدي داخل مجال مغناطيسي، أو سلك نحاسي متصل بدائرة كهربية إذ تشترك كل مكوناتها في درجة من المعلومات المتبادلة).

وغالبا ما تؤدي الدرجة العالية من التبادل المعلوماتي إلى سلوك مختلف في الأساس، رغم أن المكونات المفردة تبقى كما هي. ولنشرح هذه النقطة باستفاضة: فالمكونات المفردة لا تتأثر كل على حدة، غير أنها – في مجموعها – تسلك سلوكا مختلفا.

والفيصل فى هذا هو كيفية ارتباط المكونات المفردة ببعضها البعض لتكوّن ديناميكية المجموعة، وتشرح ذلك العبارة " الأكثر يعني الاختلاف " للفيزيائى فيليب أندرسون Philip Anderson الذى ضرب بسهم وافر فى هذ الموضوع، مما أسهم فى منحه جائزة نوبل لعام ١٩٧٧ .

والمثال الدارج على ديناميكا المجموعة هو الأثر الذى نلحظه عند غلى الماء أو تجميده (أى عند تحويل سائل أو غاز أو تحويل سائل إلى جسم صلب). فهذه الحالات القصوى والمرئية فى البنية والسلوك هى ما يعُرف بالتحول الطورى . فعندما يتجمد الماء يحدث التحول الطورى إذ تصير جزئيات الماء أوثق ترابطا، وتتجسد زيادة الترابط هذه فى رابطة جزيئية أقوى وبنية أعلى صلابة.

وبنى المجتمعات والتغيرات العميقة فيها كلها، كالثورات والحروب الأهلية أو إرساء دعائم الديمقراطية يمكن فهمها بصورة أفضل حقيقة، بتشبيهها بالتحولات الطورية.

وسأقدم الآن مثالا بعينه يشرح عملية التحول الطورى بمزيد من التفصيل، ثم أتخذ هذا المثال نموذجًا لنا لتفسير الظواهر الاجتماعية المتنوعة التى سنتناولها فى هذا الباب فيما بعد: دعنا نتصور جسما صلبا مكونا من حشد هائل من الذرات (بلايين وبلايين). والذرات عادة تتبادل التأثير مع بعضها البعض، وإن كانت التاثيرات لا تتجاوز إلا بالكاد الذرات المجاورة. وهكذا لا تشعر كل ذرة إلا بوجود الذرة المجاورة فحسب، بينما لا تتبادل الذرات المتباعدة عن بعضها - كنمط عام - أية معلومات مباشرة مطلقا. ونتيجة لاقتصار التأثير المتبادل على أقرب الجيران فلنا أن نستنتج أن الذرات المجاورة لبعضها البعض فقط تتشارك فى المعلومات، فى حين لا يحدث هذا في حالة عدم وجود تأثير متبادل . ورغم أن هذا يلوح جدّ منطقىّ، إلا أنه فى الحقيقة غير صحيح.

فإذا ما فكرنا فى السوط الذى نهزّ نهايته، وكيف يؤثر ذلك رأسًا فى سرعة حركة الطرف الآخر ونطاقها، فنحن ننقل الحركة باستعمال تكدس ذرات السوط بجوار بعضها، وهكذا يمكن أن تتشارك الذرات المتباعدة فى المعلومات، إذ أن كل ذرة تتبادل

التأثير مع جاراتها، كما تتبادل الجارات بالمثل التأثير مع جاراتها التاليات وهلم جرا. ويمكننا شرح هذا المفهوم بصورة أكثر عمقا عن طريق مفهوم " درجات الانفصال الست Six degrees of separation .

غالبا ما تسمع ادعاءً بأن لدى كل شخص على سطح هذا الكوكب ستة أشخاص - على الأكثر -يفصلون ما بينه وبين أى شخص آخر. قد يبدو ذلك الأمر للوهلة الأولى صادمًا، بيد أن صحته تتضح بالفعل إذا تمعنت فى تفاصيله. فلي أنا - على سبيل المثال - ثلاث درجات فقط (أى ثلاثة أشخاص) تفصلنى عن بيل كلنتون . كيف يتأتى ذلك ؟ حسنا ... أنا على معرفة طيبة بشخص يعمل فى مصرف City بلندن، ورئيسه يعرف رئيس الفرع الأمريكى للمصرف، وهذا الرئيس الأخير على معرفة ببيل كلنتون، وهكذا إذا أحصيت عدد الأشخاص الذين يفصلون ما بين بل كلنتون وبيني ستجد أنهم ثلاثة فقط ورغم أنني قد أكون غير مكترث كثيرًا بحقيقة أن ما يفصلني عن الرئيس السابق هو ثلاث درجات فحسب (وبالتأكيد إنه هو شخصيًا غير مكترث) فإنه رغم ذلك أمر له طرافته. ومن الطريف كذلك كيف تؤدى العلاقات دورها، فلا يهم ما إذا كنت على علم بأن شخصا يعمل أمرا ما (س)، بل كان ما يهم هو أنك مرتبط بالمجتمع، إذ أنك من خلال هذا، يتاح لك التواصل مع أى شخص تقريبا على كوكبنا، ولابد أن هناك شخصًا ما، فى مكان ما، يعلم شيئًا عن ذلك الأمر (س).

من اليسير أن ترى لماذا يرتبط شخص ما بأى شخص آخر بينهما - على أقصى تقدير - ست درجات من الانفصالية . هب جدلا أني أعرف نحو مائة شخص (لعل العدد الصحيح أكبر من ذلك، ولكن يقال إن ٢٠٠ شخص هى سعة الذهن البشرى فى تمييز وتذكر الأسماء والوجوه المختلفة، وذلك هو ميراثنا التطورى عن الأيام المبكرة من تطور الإنسان، حين كان يقضي وقته بين قبيلته قليلة العدد)، وهب أن كلا من المائة شخص الذين أعرفهم يعرف بدوره مائة آخرين وهكذا. فبعد خمس خطوات سيبلغ الرقم عشرة بلايين (حاصل ضرب مائة فى نفسها خمس مرات)، فى حين أن تعداد الناس فى العالم ستة بلايين،

وهكذا فإن خمس خطوات فقط من الصلات والمعرفة جدّ كافية في هذا المثل لتربط كل شخص بكل شخص آخر على سطح كوكبنا . وبطبيعة الحال قد لا يعرف كل شخص مائة آخرين، وقد يؤدي هذا إلى احتياج ست درجات لاكتمال الشبكة التي تغي كل إنسان في العالم . ولعله لهذا السبب ننجذب في مجتمعاتنا صوب الناس ذوي الصلات الأكثر، لتعظيم الترابط فيما بيننا.

وفيم أهمية هذا التشابك بين الناس ؟ لعلك ستجادل في أن القرارات التي يتخذها المجتمع يحكمها إلى حد بعيد الأفراد، الذين يفكرون – في المآل الأخير – في ذواتهم. من الجليّ – على أية حال، أن هذا التفكير مبني على المعلومات العمومية التي يتشارك فيها الأفراد ، وهذا التأثير المتبادل بين الأفراد هو المسئول عن البنى المختلفة داخل المجتمع، بالإضافة إلى المجتمع نفسه.

وبوسع المجتمعات – علاوة على ذلك – أن يكون لها عدد من الملامح الأخرى المميزة، مثل درجة المركزية في اتخاذ القرارات. والدكتاتورية هي أقصى أشكال المركزية تطرفا. وليس تحليلها مما يطيب، حيث يتضاءل فيها دور الأفراد في اتخاذ أي قرار – بحكم التعريف – ونقيضها على الطرف الآخر أكثر قبولا، حيث تنعدم المركزية ويتصرف الأفراد طبقا لرغباتهم هم. وهنا يستحب أن ينبع الإجماع من خلال التأثير المتبادل بين الأفراد، ولا يُسمح بمؤثر خارجي .. وفي مثل هذه الحالة تصبح للمعلومات المشتركة بين الأفراد أهمية أكبر وأعظم. ولكن كيف يتوافق الناس على اتخاذ القرار إذا ما كان التأثير المتبادل محليا فقط، أي من خلال عدد محدود للغاية من الجيرة المحيطة؟

كي نستوعب كيف يتأتى للعلاقات المحلية أن تفضي إلى تشييد البنى داخل المجتمع، دعنا نرجع إلى المثال عن الجسم الصلب، فالأجسام الصلبة عبارة عن صفوف منتظمة من الذرات، ولكن في هذه الحالة وبدلا من الحديث عن كيفية تحول الماء إلى ثلج، دعنا نتحدث عن تحول جسم صلب إلى مغناطيس . في الجسم الصلب يمكننا التفكير

فى كل ذرة على أنها مغناطيس صغير قائم بذاته. وفى البداية تكون هذه المغناطيسات مستقلة بالكامل عن بعضها وليس هناك بينها توجه مشترك نحو الشمال أو الجنوب، بمعنى أنها تشير – عشوائيا – إلى اتجاهات مختلفة. وبهذا يكون الجسم الصلب إجمالا، أى كل مجموعة ذراته، مجموعة عشوائية من المغناطيسات لا تصلح للتمغنط كوحدة واحدة ويعرف هذا الجسم بالمتوازي المغناطيسية paramagnet ومن شأن هذه المغناطيسات الذرية الصغيرة عشوائية القطبية، أن يلغى بعضها تأثير البعض الآخر وينتهى الأمر بانعدام المجال المغناطيسى المحصل.

على أية حال، إذا ما تبادلت الذرات التأثير، فيمكن أن تتغير حالاتها، أى يمكن أن تتحد فى التوجه. وبموجب نفس قاعدة الست درجات من الانعزالية، تؤثر كل ذرة فى الأخريات اللائى ترتبط بها، وهذه بالتالى تؤثر فى جاراتها، وفى النهاية تترابط كل ذرات الجسم الصلب. فإذا ما كان التأثير التبادلى أكثر قوة من التشتت الناجم عن درجة الحرارة الخارجية، فإن كل المغناطيسات ستتوحد فى توجهها القطبى فى النهاية ويولّد الجسم الصلب ككل، مجالا مغناطيسيا محصّلا (أى يصير مغناطيسا)، فيتناغم سلوك الذرات فى توحّد محكم كمغناطيس واحد كبير وتعرف النقطة التى توحّد عندها كل الذرات توجهها ذاتيا بنقطة التحول الطورى، وهى النقطة التى يتحول لديها الجسم الصلب إلى مغناطيس.

ترى ... هل يمكن تطبيق هذه الفكرة البسيطة على شىء فى تعقد وتشابك مجتمع البشر؟

بادئ ذى بدء يلوح ذلك عسيرا، فمن شأننا أن نفكر فى البشر كمغناطيسات صغيرة (فلنقل إنهم يختلفون فى توجهاتهم السياسية ذات اليمين وذات الشمال) ونحن الآن نستكشف الظروف التى فى ظلها يمم كل المجتمع شطره إلى اليسار أو إلى اليمين وكيف أن ذلك يستوجب تأثيرًا خارجيا بالغ الضآلة، وهذا هو المكافئ الاجتماعى لحالة التحول الطورى المغناطيسى. ربما تعترض قائلا إن الذرات منظومات بسيطة مقارنةً

بالبشر، وإن البشر - فى النهاية - يفكرون ويحسّون ويغضبون، فى حين ليس بالذرات حياة ومدى سلوكها أبسط بكثير. ولكن ليس هذا بالنقطة المهمة، فالمهم هو أننا نركز هنا على خاصية واحدة فى صميم الموضوع بالنسبة للبشر (أو الذرات). على أن الذرات ليست بالبساطةالتى نتصور، بل إننا (نختار) أن نعدّها كذلك بنظرنا إلى خواصها المغناطيسية فحسب.

صحيح أن الناس يظلّون أكثر تعقدا، بيد أننا هنا نرغب فى التعرف على توجهاتهم السياسية، وهو أمر سهل من الناحية العلمية.

فلنناقش هذه الناحية بتفصيل أكثر، فهناك - بكل تأكيد - فارق جوهرى بين الذرات والبشر، فمن ناحية المبدأ، للإنسان إرادة حرة، إذ يتحكم فى ذاته ويتخذ بنفسه قراراته وهو من يحدد مصيره، وليس ذلك فى وسع الذرات. وفى حين أن الجدل حول مسألة الإرادة الحرة معقد متشابك (وسنتناولها فيما بعد) فهناك ما يمكن تناوله منها الآن.

افترض أن المادة التى ترصدها، صورة بالأقمار الصناعية لأناس يسيرون جيئة وذهابا فى شارع يغصّ بالمارة، كشارع أكسفورد بلندن، فليس بمقدروك أن تتبين الأفراد فيها إذا كنت تستعمل صورة بالقمر الصناعى من موقع جوجل (وإنى لمتيقن من أن المخابرات المركزية الأمريكية أو الموساد يمكنهم بسهولة الحصول على صورة ذات تفريق أفضل)، فالناس سيلوحون نقاطا تتحرك بين مستقيميْن هما حافتا الرصيف فى شارع أكسفورد . وستظهر نقاط أكبر فى الوسط تمثل حركة المرور، والتى سنتغاضى عنها حاليا.

إنك تلاحظ الآن كيف تتحرك النقاط فتذرع الطريق جيئة وذهابا، على أن هناك تحركات إلى اليسار واليمين أيضا حين تتفادى النقاط بعضها البعض. تخيل الآن أن شخصا يعرض لك هذه الصورة للنقاط التى تتحرك بهذا النمط، ولكنه لا يخبرك بأنها تمثل أناسا، فهل بوسعك أن تخبر - من مجرد حركة النقاط - ما إذا كانت تمثل شيئا حيا (فضلا عن أنه كائن عاقل) أم تمثل شيئا غير ذى حياة كالذرات، أو كرات البلياردو

التى تتلاطم مع بعضها وتتقافز هنا وهناك لن تستطيع - على الأرجح - أن تتبين الفرق، إذ ستبدو حركتا الناس والذرات متماثلتين (ففى كلتا الحالتين يكون تحاشى الارتطام إما بالمشاهدة ثم التحرك بناءً عليها، أو بالتنافر الكهروستاتيكى). وكلتا العمليتين تُعرف بالتخلّل diffusion، ويعنى سريانا عموميا فى اتجاه موحد (لأعلى وأسفل) غير أن هناك بعضا من عدم الانتظام الجزافى من حين لآخر . وهذا هو بالضبط بيت القصيد، إن كلا الشيئين - الحى وغير الحى - يتصرف على نفس الشاكلة.

فلنعد الآن إلى مسألة التغير الطورى والمجتمعات البشرية. هب أن لدينا سلسلة من المنظومات تتبادل كل منها التأثير مع جارتيها فقط - وقد بحث هذه القضية فى الفيزياء، إرنست إيزينج Ernest Ising إبان دراسته لدرجة الدكتوراه فى عشرينيات القرن العشرين. ولسوء طالعه استطاع أن يبرهن - بصورة نهائية - على عدم حدوث تحول طورى فى هذا النموذج. فإذا ما فكرت فى الذرات. فى مثل هذه السلسلة من المنظومات كمغناطيسات صغيرة، فمن المستحيل عليها ـ ذاتيا ـ أن توحّد توجهها مع بعضها البعض بصرف النظر عما يحدث بالخارج . كانت هذه النتيجة الظاهرية مخيبة لآمال أيزينج، الذى كان يأمل فى تفسير التحول الطورى على المستوى المجهرى، لدرجة أنه تخلى ـ لفرط إحباطه ـ عن دراسة الفيزياء بعد حصوله على درجة الدكتوراه.

وكم كان أيزينج سيئ الحظ .. فبعد نحو عشرين عاما، بيّن لارس أنساجر Lars onsager - فى بحث شائق ـ أنك إذا نظرت إلى صفين من الذرات فى مستوى ذى بُعدين ـ بدلا من سلسلة المنظومات ـ فسيكون هناك تحول طورى لدى درجات الحرارة المنخفضة بما فيه الكفاية، وبناء على بحوثه كوفئ أونساجر بجائزة نوبل للكيمياء. ومنذ ذلك الحين ازدهرت البحوث فى مجال التحولات الطورية مما تمخض عن عدد من الاكتشافات الجوهرية ومنح جوائز نوبل لبعض العلماء، من ضمنهم فيليب أندرسون.

وهناك مبرهنة شديدة العمومية، أراها أنا من بين أشد النتائج المذهلة عن التحولات الطورية والمبرهات الإقصائية من نوع no go وهى نتائج رحبة فضفاضة تستبعد أنواعا من السلوك بعينها. ونتيجة أيزينج هى نوع خاص من المبرهنات الإقصائية، وتنص على أنه ما من تحولات طورية فى بعد واحد (السلسلة مثلا). ومما يثير الشغف أنه يمكن بيان عدم وجود تحول طورى عام كذلك فى المستويات (أى فى بُعدين) والاستثناء الوحيد لهذا الإقصاء فى مستوى ذي بعدين هو النموذج الذى حلله أونساجر (كم كان محظوظا) وحقيقه أننا نشاهد الثلج يتحول إلى ماء والماء يتحول إلى بخار تقتضي بالفعل أن يكون الكون ذا أبعاد ثلاثة.

ولكن، ماعلاقة كل هذا بالمجتمعات الإنسانية؟ بإمكانك التفكير فى الذرات بالمنظومات السالفة لا كمغناطيسات صغيرة بل كبشر! أجل، وكما علقنا آنفا، نحن أكثر تعقدا من الذرات، ولكن بعضا من ملامحها بسيط للغاية. فكر فى الإنسان ونوازعه السياسية، وافترض أن لدينا خيارين لشكل المجتمع: المحافظ والليبرالى. ولنعتبر هاتين الحالتين هما المماثل الإنسانى لمغناطيس فى حالتين: يشير فى إحداهما إلى اليمين وفى الأخرى إلى اليسار (وأنا أعلم علم اليقين أن بعضا من المولعين بالنقد سيقولون إن تعبير الاتجاهين إلى داخل السلطه "وخارج السلطة" هما الاتجاهان الأكثر أهمية فى السياسة).

والآن، عموما مايكون المجتمع فى حالة يكون فيها بعض الأفراد محافظين والبعض الآخر من الليبراليين. ولكن افترض أننا نسأل : فى ظل أية ظروف سيتحول كل الأفراد صوب الليبرالية مثلا؟ ستقول لنا مناقشتنا للنتيجة التى توصل لها "أيزينج" إنه إذا كان لدينا مجتمع فى غاية البساطة حيث يتباحث كل فرد فيه فى السياسة مع أقرب جارين له فقط وليس مع أى شخص آخر، فما من احتمال أن يصير لدينا مجتمع ليبرالى بأكمله، ولن نحصل أبدا على ليبرالية ذاتية، وسنكون دوما مرغمين على الحياة مع وجود بعض المحافظين. ومن هنا، فإن المجتمع ذا البعد الواحد يسهل توصيفه، ولاتوجد به تحولات تثير الدهشة. ومثل هذا المجتمع هو مجتمع المافيا الذى جسّده

العرض السينمائى Goodfellas[(١)] وهو مجتمع شديد البعد عن الليبرالية. فرئيس المافيا الكبير capo di tutti capi (رأس كل الرءوس) وهو شخص يدعى "باولى" لايوصل أوامره إلا عبر أقرب شخصين إليه فقط، ونادرا مايتحدث إلى غيرهما. ويقوم هذان بدورهما بالاتصال بأقرب المقربين لهما، وهلم جرا. ولايحقق هذا النظام الأمان فحسب - حيث إنه يمنع المخابرات المركزية الأمريكية من العثور على الرءوس المدبرة فى المافيا - بل إنه علاوة على ذلك يؤدي إلى استقرار أى فرد داخل المافيا ذاتها. ومن ثمّ يتضاءل بشدة احتمال أن تتعرض المافيا ككل لتحول طورى مفاجئ أو تغيير ملموس فى سلوكها، كأن تنتخب زعيما جديدا مثلا، أو أن تنهار نتيجة وشاية من بعض المخادعين من العملاء أو الجواسيس. ومن المثير للشغف أننا لو أتحنا لكل فرد أن يتبادل التأثير مع كل فرد آخر، فمن الممكن أن يحدث التحول الطورى حتى فى المجتمع ذي البعد الواحد. والعالم الواقعى يقع فى موضع مابين هذين الطرفين .فليس حقيقيا أن كلا منا لايحادث إلا جيرانه الحميمين فقط، كما أنه ما من أحد يتصل بسكان العالم أجمع. وكما قلت فيما سبق، عادة ماتمتد دائرة معارفنا فى محيط العائلة والأصدقاء والمعارف الذين نرتبط بهم ارتباطا كافيا، إلى حوالى ٢٠٠ شخص.

وفى واقع الأمر، فإن عدد ارتباطاتنا التى نعقدها مع الأناس الآخرين تتبع مايعرف باسم "توزيع القانون الأسى"، فعدد الناس الذين يعرفون أعدادا غفيرة من الآخرين أقل من عدد الناس ممن يعرفون قلة قليلة، والنسبة مابين العددين تتبع بدقة قانونا مشابها لقانون زيبف الخاص بمدى تكرار الحروف والذى ذكرناه فى الكتاب آنفا. وبدقة أكثر . يقل عدد الناس ذوى علاقات بألف شخص، عن عدد الناس ذوى العلاقات بعشرة أفراد، مليون مرة . والأناس ذوو العلاقات الغزيرة يقل احتمال وجودهم من الناحية الإحصائية بمثل مايقل احتمال وجود الكلمات الطويلة المتداولة فى اللغة الإنجليزية.

---

(١) Goodfellas : فيلم أمريكى أنتج عام ١٩٩٠ عن قصة حقيقية لإحدى عصابات الجريمة المنظمة منذ نشأتها حتى القضاء عليها. (المترجم)

ويؤدى عدم التجانس هذا فى عدد العلاقات إلى نموذج فائق الأهمية، حيث هناك مقدار هائل من التأثر المتبادل مع الأناس المقربين قربا مؤقتا أو مرحليا. وهناك تأثير متبادل عبر مسافة بعيدة مع شخص قاص. ويسمى هذا "بشبكة العالم الصغير" وهى نموذج ممتاز عن الكيفية والعلة وراء سرعة انتشار الأمراض فى عالمنا. فحينما نقع فريسة المرض، تنتشر العلة عادة وبسرعة إلى أقرب جيراننا. عندئذ حسبنا أن يقوم واحد من أولئك الجيران برحلة طيران طويلة، بما يسمح للفيروس بالانتقال إلى أماكن نائية. ولهذا السبب تقلقنا كثيرا أنفلونزا الخنازير وكل أنواع الفيروسات الكامنة التى قد تقتل الإنسان.

دعنا الآن ننظر لماذا يعتقد بعض الناس - سواء عن صواب أو عن خطأ - أن الثورة المعلوماتية قد غيرت - وستغير - مجتمعنا بأكثر من أية ثورة وقعت فى الماضى، مثل الثورة الصناعية التى تناولناها فى أبواب سابقة . يعتقد بعض علماء الاجتماع مثل مانويل كاستلز Manuel castells أن شبكة المعلومات الدولية سوف تنزل بمجتمعاتنا تحولات أبلغ عمقا بأكثر من كل ماحدث سابقا فى التاريخ على الإطلاق. ويرتكز منطقه على فكرة التحولات الطورية السالفة، رغم أنه كعالم اجتماع لايؤولها بنفس الطريقة الرياضية التى يتبعها الفيزيائى. ولتفسير ذلك يمكننا التفكير فى المجتمعات المبكرة كمجتمعات محلية للغاية فى طبيعتها، فقبيلة توجد هنا وأخرى هناك تقومان باتصالات شديدة المحدودية بينهما. بل وحتى قرب نهاية القرن التاسع عشر، بقى انتقال الأفكار والاتصالات بصفة عامة وئيدا للغاية . لذلك عاش البشر ولفترة مديدة فى مجتمعات كانت الاتصالات بينها محصورة فى نطاق بالغ الضيق . ويعني هذا - بلغة الفيزياء - استحالة وقوع تغيرات مفاجئة بها. على أن للمجتمعات تعقيداتها الأخرى، ومن ثمّ فلعل الأفضل القول بأن التغير بعيد الاحتمال ولكنه ليس مستحيلا - فبوسعنا اليوم - والفضل لتنامي التقنية المتاحة باطّراد - أن نسافر طولا وعرضا، وعبر شبكة المعلومات العالمية بمقدورنا التعلم والاتصال - عمليا - بأى شخص فى العالم.

كانت المجتمعات الباكرة أشبه بنموذج "أيزينج"، فى حين أن المجتمعات الحديثة تنحو صوب نموذج "شبكات العالم الصغير". ونحن ندنو باطراد متزايد نحو مرحلة يسع كل فرد فيها أن يتبادل التأثير مع أى فرد آخر، ويحدث هذا بالضبط حينما تغدو التحولات الطورية أكثر احتمالا . ويمكن للمال، بل وحتى العمالة أن تنتقل من أحد أطراف المعمورة إلى طرفها الآخر فى غضون ثوان أو حتى أقل ولهذا بالطبع تأثيره على عناصر مجتمعنا.

وتحليل بنى المجتمع فى ضوء نظرية المعلومات كثيرا مايفصح عن ملامح تضاد البديهيات. ومن هنا تأتي أهمية التعرف على لغة نظرية المعلومات، فبدون استيعاب إطارها، يصعب كثيرا فهم بعض آثارها الباهرة والمذهلة بسبب علل جذرية. ولنأخذ تشرذم مجتمع حديث كمثال. فلوس أنجيلوس الحديثة بها اليوم مناطق متمايزة ذات تخوم محدّدة بجلاء لكل من البيض وذوي الأصول الإسبانية واللاتينية، والأمريكيين السود. ومن الواضح أن هذا التقسيم لم تفرضه سلطة فوقية (فكل شخص له الحق قانونا أن يبتاع أملاكا فى أية منطقة كيفما يشاء)، ومن هنا فهل الخلاصة التى لامناص من استنباطها أن جميعهم حزمة من العنصريين ؟ والإجابة المدهشة، وفقًا لنموذج شيلنج هى : كلا، فحتى أكثر المجتمعات تفتحا وليبرالية قد تنتهي إلى مثل هذه الحالة من التشرذم. والتشرذم بمعناه هذا يحدث بصورة تشابه التحول الطورى الذى سبقت لنا مناقشته.

ولمحاكاة التشرذم، استعمل شيلنج نموذجا بالغ البساطة يماثل نموذج التحول الطورى فى المغناطيس مما وصفناه سابقا : تخيل شبكة ذات بعدين، حيث يمكنك أن توزع فوقها قطعا بيضاء وسوداء بصورة عشوائية. فإذا ما اتخذناها مرادفا لحالة المجتمعات، فإنها تمثل مجتمعا ليبراليا ومختلطا لأقصى حد (وفى مثال المغناطيس يناظر هذا حالة تشتت الذرات الكامل، حيث تتوجه المغناطيسات الصغيرة فى كل اتجاه دونما توحيد).

علينا الآن أن ندرس الديناميكا كى نرى كيف يظهر التشرذم. نظر شيلنج للقاعدة الآتية:

تنظر أية قطعة - وكل قطعة - حولها صوب جارتها، فإذا ماشاهدت عددا معينا من الجارات ذا لونين مختلفين فإنها ستقرر أن تتحرك إلى مكان آخر، ومن الواضح أن توجه الشخص العنصرى المتطرف سيقود إلى التشرذم (أى إذا تحركت كل قطعة لمجرد أن واحدة من جاراتها ذات لون مختلف مثلا).

على أية حال، كانت المفاجأة التى قدمها شيلنج أنه يبدو - حتى من منظور ليبرالى للغاية - أنك لن تتحرك إلا إذا كان كل جيرانك من لون مختلف، وهذا يقودنا بالمثل وبصورة طبيعية إلى مجتمع متشرذم. والذى يعنيه هذا فى نموذج أيزينج أنه حتى أوهن تأثير متبادل كاف لإحداث تبدل طورى. وفى مثل هذا النموذج، من شأن التأثيرات المتبادلة أن تجبر ذرتين على أن يوحّدا توجههما بنفس الأسلوب الذى يصبح به الجيران فى نموذج شيلنج متجانسين عنصريا (وأذكر القارئ بأن المدينة تحاكى بناءً ذا بعدين، وفى البعدين - خلافا للبعد الواحد - يقع فى نموذج أيزينج تحول طورى).

وأكثر الطرق اتساقا مع الطبيعة للتفكير فى ذلك هى معيار المعلومات المتبادلة . ففى الحالة الابتدائية، حالة الفوضى الشاملة، كان هناك القليل جدا من المعلومات المتبادلة، فبالنظر إلى قطعة واحدة يصعب الاستدلال على ألوان جارتها (فالقطع - بحكم افتراضنا - غير مرتبة). على أية حال تصل المعلومات المتبادلة إلى أقصى حدودها فى المجتمع ذي التشرذم الأقصى، حيث يمكنك النظر لقطعة واحدة ثم الاستدلال على لون بقية القطع المحيطة بها. أما مع التحولات الطورية الأخرى التى تحدثنا عنها، فالمعلومات المتبادلة هى الأخرى دلالة على مجتمع متشرذم (من شأن المجتمع المتشرذم أن يمثل حالة مغناطيسات فى حالة منسقة، حينما تسلك سلوكا جماعيا موحدا). إذا ما استوعبت نموذج شيلنج البسيط على نحو صحيح، فستلمح سريعا أن ليس ينبغى أن تطبقه على التشرذم العنصرى فحسب، بل يصح تطبيقه على أى تجمع داخل المجتمع، فالانفصال السياسى أو الاقتصادى أو الاجتماعى أو الفكرى يمكن دراسته وفهمه تأسيسا على ذات المنطق.

وللإنصاف، فإننا نبسّط المجتمعات هنا كثيرا، غير أن تحليلنا يتضمن بكل تأكيد بعضا من عناصر الحقيقة، ولكى تتبين قدر ذلك دعنا نمتحن قدرتنا على التنبؤ بسؤال بسيط للغاية: ما هو توزيع الثروة فى مجتمع نمطى ؟ إن هذا السؤال يقرن عنصر المقامرة الذى ناقشناه فى الباب السابق، بالعناصر الاجتماعية التى نناقشها الآن.

إذا كان أساس كل مجتمع هو المعلومات، كما أزعم دائما، فهل سينبئنا الحد الأمثل من المعلومات عن توزيع الثروة داخل المجتمع؟ الإجابة: نعم ولا، ودعنى أفسر أولا الإجابة بالنفى:

عندما نصل بمعلومات شانون للحد الأمثل سنحصل - نمطيا على توزيع الاحتمالات المعروف بمنحنى جاوس أو المنحنى الجرسى أو الناقوسى، ولقد سمى هذا التوزيع باسم كارل فريدريش جاوس karl Friedrich Gauss الرياضى الألمانى، أول من لاحظ شيوع التوزيع الناقوسى الشامل فى الطبيعة. فعلى سبيل المثال تتوزع سرعات الذرات فى الغاز وفقًا لتوزيع جاوس، فتتحرك أغلبية الذرا ت بسرعة ذات قيمة وسط (ولنقل ٥٠٠ متر فى الثانية)، كما تتحرك أعداد أقل - ولكن متساوية - بسرعات ما بين ٤٠٠، ٦٠٠ م/ث. ويتناقص بمعدل سريع عدد الذرات التى نرصدها كلما تحركنا بعيدا عن نطاق سرعة ٥٠٠ م/ث . وذلك هو المعلم الرئيسى فى توزيع جاوس، الذى يأخذ منحناه نمطا شبيها بشكل الناقوس.

ولايتبع توزيع الثروة فى غالبية المجتمعات توزيع جاوس، بل يتبع فى الحقيقة قانونا أسيًا، وهو مايعني أن عدد الأفراد فاحشي الثراء ضئيل للغاية، مع ضخامة عدد المعوزين. ولو كان توزيع الثروة وفقا لتوزيع جاوس، لوقع معظم الناس فى مكان ما قرب المنتصف، مع انحرافات طفيفة صوب ناحيتى الثراء والفقر من المنحنى. وليست هذه - للأسف - الحالة مطلقا فى أى مجتمع مما نعهد حتى فى الأنظمة الشيوعية الشمولية، كما كان الحال فى الاتحاد السوفييتى السابق.

من أين ياترى أتى قانون التوزيع الأسّي؟ لماذا كان احتمال امتلاكك لمليون دولار بمصرفك واحدا على الألف من احتمال امتلاكك لألف دولار؟ هذا هو بالضبط ماينص عليه قانون التوزيع الأسّي. إذا كان هناك مائة ثرى فى البلاد يملك كل منهم مليون دولار، فهناك مائة ألف شخص لديهم ١٠٠٠ دولار.

دعنا نحاول معرفة العلة فى أن الأمر كذلك. إن الإجابة الشافية غير معروفة، بيد أن بوسعنا أن نحزر (لو أنني أعرف الإجابة لحجزت من فوري مقعدا على طائرة متجهة إلى استكهولم لأتسلم جائزة نوبل فى الاقتصاديات). ويبدو أن التفسير المأثور هو القاعدة التى يمكن صياغتها فى المقولة : "الثرى يغدو أكثر ثراء" وفى عبارة بسيطة، الثروة لاتضاف إلى الثروة من خلال عملية جمع حسابية، بل من خلال عملية ضرب، فهؤلاء ممن يملكون أكثر سيطّرد ازدياد ثرواتهم، وبذلك تتضخم الفجوة بين من يملكون ومن لايملكون بما يصدق عليه القانون الأسى. وحتى إذا بدأ الكل من نفس النقطة، فإن الفرق العشوائى الطفيف فى ثروات الناس (حيث إن بعضهم سيربح فى سوق الأوراق المالية العشوائية، بينما يخسر آخرون) سيتضخم حتما إن عاجلا أو آجلا.

هل يعني هذا أن ليس ثمة علاقة بين المعلومات وتوزيع الثروات ؟ بلى .. فالناس يجنون ثرواتهم ليس بأنفسهم فحسب، بل من خلال مجموعة من الشبكات يكونونها مستخدمين كل أنواع الآليات الاجتماعية. ويتعقد التأثير الاجتماعى المتبادل، ويمضي بالتوازي إلى كل أركان المجتمع. والحراك الاجتماعى يصعب فهمه إلى أبعد حد، كما أنه يتبدل خلال فترات وجيزة.

ويعني هذا ألا نتوقع أن يكون للمعلومات خاصية الجمع كالعمليات الحسابية (أى أن تساوى محصلة المعلومات المحتواة فى حدثين مستقلين)، الجمع الجبرى لمعلومات كل حدث منهما منفرداً (استعملنا ذلك فى الباب الثالث لنشتق إنتروبيا شانون) . وإذا أخفق الجمع الجبرى، فإن المقياس الصحيح للمعلومات هو مقياس شانون لاغير . كان الفيزيائى البرازيلى كونستانتينو تساليس Constantino Tsallis هو من درس بتعمق قاعدة عدم

الجمع الجبرى هذه. ولماذا لاتخضع الثروة لقاعدة الجمع الحسابى؟ إن اقتناء ثروة، ثم التربح علاوة عليها لا يعني جمع مقداريهما، فالثروة لاتجمع حسابيا، وإنما تضيف لنفسها. وهذه وجهة نظر أخرى لقاعدة زيادة العائدات فى الاقتصاد التى قابلتنا فى الباب السادس.

وما من تناقض هنا، إذ أن قانون الثبات والحفظ لاينطبق على الثروة، وإن كان من الممكن استحداثها من عدم (وأقصد بالعدم هنا عدم وجود ثروة بادئ ذى بدء ولاأعني عدم وجود موارد فيزيائية لها).

إذا مااستعملنا معادلة غير معادلة شانون، وإن بقيت بها الدالة العكسية للاحتمالية، فيمكننا تفسير قانون التوزيع الأسّى. ومن ثم فحتى هذا الجانب المحورى فى الحراك والاستقرار الاجتماعى - وهو توزيع الثروة فيه - هو نتاج نظرية المعلومات البسيطة، وإذا لم تكن المعادلة المستخدمة معادلة شانون نصا، فإنها - بالتأكيد - معادلته روحا.

يرى بعض علماء الاجتماع المتفائلين أن عصر المعلومات سيؤدي إلى مجتمع أكثر عدلا ترتقي فيه ظروف حياة كل إنسان، مع تقليص الفجوة بين من يملكون ومن لايملكون، ويزعم آخرون من المتشائمين أن العصر الجديد سيفضي إلى نهاية مفاجئة ونوع من التبدل الطورى فى مجتمعات اليوم، من خلال كل صنوف المؤشرات، مثل ارتفاع معدلات الجريمة نتيجة التفكك الأسرى، والإرهاب العالمى، واحترار الارض، إلخ. وليس من المرجح أن تخبرنا نظرية المعلومات عما يخبئه لنا المستقبل، إلا أن أمرا واحدا - رغم ذلك - مؤكد الوقوع . فبازدياد الاتصالات المتبادلة فى العالم، ارتقت سرعة تفكيرنا واتخاذنا للقرارات . وفى مجتمع ذي روابط داخلية أكثر، نكون أكثر عرضة لتغيرات مباغتة، ووتيرة تبادل المعلومات - ببساطة - فى تسارع.

وإذا مارغبنا فى اتخاذ قرارات سديدة فعلينا التيقن من أن معالجتنا نحن للمعلومات تجري بنفس السرعة، فالمستقبل - وكما يبدو - لن يقف فى صف الجسور فقط، بل فى صف الأسرع أيضًا.

وإذ رأينا كيف تعزز المعلومات الظواهر الاجتماعية والبيولوجية والفيزيائية المختلفة، فنحن الآن مهيئون للارتفاع بالمناقشة إلى المستوى التالى . وسنعود أدراجنا إلى التساؤل: من أين تأتي هذه المعلومات، ومامقدار مايحتويه الكون منها، وماهى أقصى سرعة لمعالجتها ؟ وتدعم الإجابات على هذه الأسئلة كل الأبواب التى مررنا عبرها حتى الآن. ومن أجل أن نفهم الأصول الأولى للمعلومات، تلزمنا رحلة استكشافية شائقة. وسيأخذنا ذلك إلى عالم ميكانيكا الكم، والطبيعة الحقة للعشوائية، وما إذا كان نقل الأجسام - من على مبعدة - فى حيز الإمكان، وقضية الإرادة الحرة والحتمية. حقا سنبحر فى محيط ملىء بالمخاطر، فخذ حذرك .. وتماسك جيدا.

النقاط الجوهرية فى الباب السابع :

- المنظومات المترابطة هى تلك التى تتشارك فى المعلومات العمومية.

- يترابط الأشخاص الفرادى فى مجتمع ما بأساليب عديدة عبر تأثيرات متبادلة متنوعة ووسائل الاتصال مثال لذلك.

- المجتمعات بمثابة شبكة من الأفراد المترابطين، ودرجة الترابط داخل هذه التشبيكة تحدد نوع المجتمع الذى لدينا.

- تقع غالبية المجتمعات بين طرفين (أو حدين) : مجتمع ذو أفراد مترابطين ترابطا كاملا ومجتمع أفراده منفصلون عن بعضهم بالكامل . وهذان المجتمعان مثال لشبكات عالمية صغيرة، ويفسر ذلك كثيرا من الظواهر الاجتماعية، ابتداءً من انتشار المرض إلى استئثار الصفوة بالثروة.

الجزء الثانى

مقدمة

كنا نناقش إلى الآن الجوانب المتنوعة للواقع بمعيار المعلومات، ورأينا كيف تقدم نظرية المعلومات توصيفا مقنعا لمختلف نواحى الواقع. كان شانون - فى اشتقاقه لنظريته يحاول فقط أن يصف المعلومات معبرا عنها من زاوية مشكلة معينة للغاية، وهى زاوية الاتصالات مابين شخصين: أليس وبوب، ولم يعن مثقال ذرة بقابلية نظريته للتطبيق خارج حدود هذه المشكلة.

ولكن وكما تكشف ها هنا تكمن قوة نظريته بالضبط. هل كان شانون محظوظا، أم أن هناك شيئا ما أكثر أصالة فى مقاربته هو الذى يجعل لنظرية المعلومات هذه القابلية الواسعة للتطبيق؟

تتناول نظرية المعلومات - فى لبابها - أهم القضايا الأساسية التى يتداولها الناس : هل يختلف (أو يتميز) الحدث A عن الحدث B ؟ ولماذا هو بهذه الأساسية، حسنا.. فكر فى الأمر بهذا الأسلوب : حاول أن تتخيل كيف تصل إلى وصف أى شىء، حينما لاتستطيع التمييز بين الإجابة الصحيحة من الإجابة الخاطئة. إن ذلك محال التحقيق. فأنت تكون آنذاك فى حكم فاقد البصر تماما. وبدون إمكانية التمييز لانستطيع أن نأمل فى امتلاك أى فهم لكوننا إذا مابدا كل شىء متماثلا. وإذا ما أخذنا فى الحسبان الجزء الأول من هذا الكتاب رأينا بالفعل أن هذا المفهوم عن قابلية التمييز مطبق فى كثير من المظاهر الخارجية.

ففى علم الأحياء مثلا يميز الدنا ما بين أربع قواعد عند استنساخ نفسه، وفى الديناميكا الحرارية يحتاج (عفريت أو شبح) ماكسويل للتمييز مابين الجسيمات

سريعة الحركة وبطيئتها، كى يخلق فروقا فى درجات الحرارة مابين جانبى الحيز الذى يحويها. وفى نادى المراهنات، تراهن طبقا لسيناريوهين مختلفين على أقل تقدير، ويكون استيعابك للاحتمالات هو مايحدد مقدار ربحك. وفى علم الاجتماع كنا نميز مابين حالين هما ما إذا كان الفرد حرا أم لا، وهو ماله أثره على مقدار احتمالية بقائك فى الجوار أو نزوحك.

وهذا المفهوم الأساسى للقابلية للتمييز مابين حالتين مختلفتين هو ما أشار إليه شانون أساسا كشذرة من المعلومات. والشذرة هى أكثر المقاييس أصالة للمعلومات: متى ما كان لديك أكثر من نتيجتين، فأنت ببساطة تستعمل شذرات أكثر لتميزهما جميعا.

وفى الواقع ليس هناك مغزى لأن تتحدث عن إمكانية التمييز بين حدثين، إذا ما كان أحدهما يقع دوما. ومن ثم فإننا فى حاجة لمعرفة درجة احتمال وقوع كل من الحدثين. ولأننا نستطيع التمييز مابين أكثر من نتيجة واحدة، فيمكننا ـ مرة تلو الأخرى ـ أن نستنبط احتمالات هذه النتائج. ويعطينا احتمال حدث ما، توقع حدوثه، وهو ما يسمح لنا أن نحدد كميا أو عدديا مقدار دهشتنا عندما يقع الحادث، فإذا كنا نتوقع شيئا ما بدرجة احتمالية عالية فلن ندهش كثيرا لدى حدوثه (كشروق الشمس مثلا)، وإذا لم يقع فإن دهشتنا تزيد بنفس المقدار.

وكل ذلك أمر طبيعى وأساسى، بحيث أنك حتى لو فكرت فيه وأنت جالس فى مقعدك الوثير (مع العودة بالنظر قليلا إلى الخلف) ستجد نفسك تنزع نحو إطار مشابه لما اقترحه شانون. ومن منطلق هذا المنظور فظني أنك ستوافقنى على أن مفهوم شانون عن المعلومات يبدو بديهيا.

هل نستطيع إذن ـ ونحن الآن مسلحون بنظرية شانون للمعلومات ـ أن نصوغ أية مشكلة بمعيار المعلومات ؟ حسنا.. ليس تماما.فبينما المفتاح إلى القابلية الواسعة لنظرية المعلومات لشانون كى تطبق، هو امتلاكها لنفس الأساس المنطقى للظواهر اليومية، الفيزيائية منها والبيولوجية والاجتماعية والاقتصادية، فإنها لاتفلح فى الإمساك

بزمام كل الأمور. فنظرية شانون للمعلومات مقصورة على الأحداث المبنية على منطق "بول"، أى على الحذف ذي النتائج المتعددة، والتى قد تحدث كل نتيجة منها أو لا تحدث. إذا ما ألقيت حجر نرد فقد يظهر الرقم ٣ أو لا يظهر (لايمكنك الحصول على رقمى ٦،٣ فى ذات الوقت). لاحظ أننا ـ رغم أن هذا الأساس المنطقى يبدو للقارئ حقيقة بديهية سطحية تماماـ سنرى أن أحدث منظور لنا عن الكون يخبرنا بغير ذلك.

ومنطق بول هذا المبنى على الحدث هو بالمثل ملمح مميز للنماذج الفيزيائية المبكرة، ومثلما تتأسس نظرية شانون للمعلومات على الفكرة الرئيسية من حيث وقوع نتيجة محددة (فنحن نتوقع وقوع الحدث A فقط أو الحدث B فقط، ولا نتوقع البتة وقوعهما معا)، فإن نماذجنا فى الفيزياء تتبع نفس المنهج. فالنماذج الفيزيائية التى عادة ما تسمى بالكلاسيكية، وفى بعض الأحيان بالنيوتونية، هى أيضا مسئولة عن الأغلبية الغالبة من تقدمنا التقنى الذى نحيا فى ظله اليوم (ولنتذكر : الكهرومغناطيسية، التحكم فى أشكال الطاقة، الهيدروديناميكيات، والاتصالات عن بعد). إنها الفيزيائيات التى تعلمناها فى المدرسة : فلكل جسيم شحنته المحددة، وموقعه، وسرعته، وكتلته. وتطرح الفيزياء الكلاسيكية أننا إذا ماعيّنا هذه الخصائص لكل الجسيمات فى الكون فبوسعنا أن نحدد النتيجة المترتبة على أى حدث مستقبلى، وبعبارة أخرى إن للكون طبيعة حتمية تماما. وفى الحقيقة فقد جرى تصور كائن خيالى، منوط به تحقيق هذا الغرض، يشار إليه ـ على نحو عاطفى ـ بعفريت أو شبح لابلاس ـ، وهو ملمّ بكل الخواص لأى جسيم، وكل جسيم فى الكون، وبالتبعية، قادر على تحديد أى حدث (كمن يستشف أحداث المستقبل).

ومفهوم المعلومات بالنسبة لهذا العفريت أو الشبح، فائض عن حاجته تماما، فهو على دراية ـ سلفا وعلى وجه اليقين بما سيقع (ياله من كون ممل خال من الإثارة ذلك الذى يحيا فيه هذا العفريت). ويؤمن صمويل جونسون Samuel Johnson على ذلك بقوله: "إنها حالة من الحياة لايسعد بها أى إنسان، فما من توقع لأى تغيير".

ورغم ذلك ـ ولحسن الحظ ـ حتى لو كان هـذا الكون نو الطبيـعة الحتمية بـاعثا على الضجر، فيسهل على عفريت لابلاس أن يتنبأ بأحداثه المستقبلية، فالتقدم العلمى، وفى مجال الفيزياء خاصة، ما زال متخما بالمفاجآت. فالفيزياء فرع من العلم مفعم بالحيوية، وما أن نقع على نموذج يصف لنا الواقع، حتى تأتى معه تجربة تتحدى رؤيتنا بالكامل. وعلى هذا النمط تتطور الفيزياء عبر الزمن، آخذة فى حسبانها المزيد والمزيد من المعلومات، والتجارب المستحدثة والنظرات المتبصرة لتحصيل فهم أفضل وأدق للواقع. لذا، فإن السؤال هو : ماالذى جعل الفيزياء الكلاسيكية... كلاسيكية؟ أعني.. ما هو الطارئ الذى استجد فى عالم الفيزياء؟

إن جوانب بعنيها من الواقع موصوفة بصورة أكثر دقة عن طريق تقريب عال للفيزياء معروف باسم "نظرية الكموم Quartum Theery"وهذا هو أحدث مفاهمينا. ومن خلال نظرية الكم، يخفق الاعتقاد بالحتمية فى الكون. فدائما ماتقع الأحداث وفق احتمالات، بغض النظر عن قدر المعلومات التى لدينا، وعفريت لابلاس يستحيل وجوده ـ من حيث المبدأ، ناهيك عن استحالة وجود العملى (بعبارة أخرى ما من حقيقة تراها فى بللورة سحرية أو فى هيكل[1] دلفى الإغريقى للتنبؤ. ولا يقتصر الاكتظاظ بالمفاجآت على الفيزياء فقط فالكون كله ـ بطبيعته ـ مفعم بها إذن.. ما الذى يعنيه فهمنا الحديث للفيزياء، أى ميكانيكا الكم ـ لنظرية شانون للمعلومات ؟ لم يشد شانون نظريته للمعلومات لتشمل شذوذ الحالات الكمومية، ومن ثم فإذا كنا حقا جادين فى وصف الكون برمته، فهل ستظل نظرية شانون للمعلومات صحيحة من الأساس ؟ أجل، ولكن مع بعض التعديل.. فالقابلية للتميز والاحتمالات تبقى أمرا محوريا حتى فى نظرية الكم أيا كان مفهوم القابلية للتمييز محتاجا لتعميمه كى يشمل شذوذ الظواهر الكمومية. وعندما نبسط مظلة نظرية شانون للمعلومات، سنجد أن هناك عناصر إضافية كثيرة عن الواقع كانت متوارية عنا تماماً.

---

(١) هيكل دلفى : هيكل كان الإغريق يخصصونه للعبادة ومشورة الآلهة التى تلقي فيه بوحيها من خلال وسيط روحى. (المترجم)

وفى هذا الجزء الثانى من الكتاب سنقدم ونطبق نظرية معلومات، ونظرية معلومات كمومية أوسع، من أجل التعريف بعدد من المعالم المستحدثة التى لايمكن وصفها من خلال نظرية شانون للمعلومات فى حالات بعينها، تضم تلك التى تمت تغطيتها فى الجزء الأول من الكتاب. ولم تعد لدينا فى الجزء الثانى منه هذه الرفاهية، بل يلزمنا شرح واف لمفهوم الكموم. ويفضي بنا هذا إلى ملامح جديدة وأخاذة لعملية معالجة المعلومات، مثل القدرة على نقل المعلومات عن بعد عبر مسافات شاسعة، والقدرة على إجراء الحسابات بأسرع مما يمكن تخيله على الإطلاق، وعمل الاتصالات فى أمان تام بعيدا عن أى تنصت أو محاولة فك شفرات الاتصالات بالإمكانيات الحاسوبية. وعلى أية حال، فإن المفاجأة الحقيقية هى كيف تزلزل - بطريقة درامية - فهمنا للكون، مما يقودنا إلى ضرورة البحث عن رؤية جديدة لتفسير أصله. ويصيغ رونالد رامسفيلد سكرتير الدولة السابق للولايات المتحدة، التحول من نظرية شانون للمعلومات إلى نظرية المعلومات الكمومية - وهى الأمر المبهم بالنسبة إليه - بطريقة أخاذة، حينما يخبرنا أن بعض " المجاهيل المجهولة unknown unknowns "قد أضحت اليوم مجاهيل معلومة known unknowns، بل وحتى معلومات معلومة known knowns ولايستثنى من هذا حقيقة احتمال وجود مجاهيل مازالت مجهولة، أى أننا مازلنا "لانعرف مالذى لانعرفه". وبالأساس مازال هناك الكثير أمامنا لنبحث عنه ونتشوف لمعرفته.

ولحسن الحظ فإن منطق ميكانيكا الكم ليس محيرا مثل عبارات "رامسفيلد" ففى هذا الجزء الثانى سأبين كيف يمكن توصيف المعلومات الكمومية فى صورة جلية وموجزة، تتواءم مع أحدث وصف لنا للواقع.

(٨)

إعداد المسرح للمشهد الكمومى

هيئوا الأضواء والكاميرات .. ولنبدأ

فى ربيع عام ٢٠٠٥، وفيما أنا جالس إلى مكتبى فى قسم الفيزيائيات بجامعة ليدز، أصحح بعض أوراق الامتحانات، انتزعتني من عملي مكالمة هاتفية. لم تكن هذه المقاطعات بالشيء الغريب فى ذلك الوقت، إذ كنت قد نشرت قبل ذلك ببضعة أسابيع مقالة عن نظرية الكموم فى مجلة البوبيلار ساينس popular science بعنوان "العالم الحديث"، ومنذ ذلك الحين غرقت فى سيل من كل صنوف المهاتفات من الجماهير. كانت غالبية المتحدثين من المتحمسين الذين تفتحت شهيتهم نحو المزيد من المعلومات عن هذا الموضوع الشائق، رغم أنني كنت أكتشف من وقت إلى آخر أن واحدا أو اثنين من محدثيّ إما لم يقرأ المقال، أو ربما طالعه ولم يظفر منه بالكثير. وقد تراوحت التعليقات مابين هل بمقدور ميكانيكا الكم أن تمنع شعرى من التساقط ؟ وبين شخص يروي لى كيف التقى شقيقه التوأم الذى يحيا فى (كون مواز)، وجرت بقية التعليقات على هذا المنوال. كنت أتلقى يوميا نحو زوج من مثل هذه الاسئلة. ولقد اعتدنا فى أكسفورد أن نعقد مجلسا حول الأسئلة البناءة التى تصلنا، وبصفة خاصة تلك الأسئلة التى تجسد بوضوح أن طارحها قد استوعب بعض المبادئ جيدا، وإن شطّ صاحبها بعيدا إلى حد التطرف أحيانا.. فى شأن مبهم بالنسبة له،خارقا العديد من قوانين الفيزياء الأخرى فى طريقه.

وقد أفادت هذه الأسئلة فى تذكيرنا بمسئولياتنا نحو نشر العلم، ليغدو متيسرا سهل التناول، على أن يظل ذا نفع عملي. وكما يردد أحد زملائى كثيرا " إن الاقتصار على العمل بقليل من الفيزياء قد يكون أخطر من عدم العمل بها على الإطلاق".

وفيما أنا ألتقط سماعة الهاتف أتاني صوت يقول "مرحبا ياأستاذ فيدرال، إنني أدعى جون سبونر، وأنا مخرج مسرحى، أعكف فى الوقت الراهن على إعداد مسرحية عن نظرية الكم. وأنا أؤلف بين عناصر نظرية الكم فى المسرحية، ونأمل فيك استشاريا لنتحقق من أننا نستوعبها بطريقة صحيحة".

وقد بهتّ لبضع ثوان على الأقل وساءلت نفسى " ماالذى يقوله الرجل ؟ هل أخطأت السمع؟

مسرحية عن نظرية الكم؟ مهما يكن الأمر فقد أحسست بانفتاح شهيتى نحو الإقدام على عمل كهذا، مستحضرا النجاح الذى ظفرت به مسرحية "كوبنهاجن" لميكايل فراين Michael Freyn والتى كانت قد عرضت منذ بضع سنين. بنيت فكرة مسرحية "كوبنهاجن" على اجتماع عقد بالفعل عام ١٩٤١ بين اثنين من (آباء) نظرية الكم، هما الدانماركى "نيلز بوهر"والألمانى" فيرنرهايزينبرج.

كانت الجهود فى مسرحية كوبنهاجن لتوضيح نظرية الكم وتناول دقائقها جدّ واضحة، ولكن لم يكن هذا هو الهدف، فقد كان من شأن مسرحية سبونر أن تقدم منظورا جديدا حول الموضوع. وعلى ذلك فقد فكرت.. ولم لا ؟ وبعد تبادل الآراء حول بعض التفاصيل، اتفقنا على اللقاء صباح اليوم التالى لنناقش الأمر بمزيد من العمق.

كان أحد الجوانب التى اجتذبتنى نحو معرفة المزيد عن هذا الموضوع، هو أن العلم والفن غالبا ما ينظر إليهما على أنهما جانبان متعارضان أحدهما مع الآخر، وكان من الشائق أن يحاول أحدنا العثور على الطريق إلى عبور الفجوة التى تفصلهما،

وكان مما شجعنى أن المبنى الذى كانت تجرى فيه التدريبات الإعدادية للمسرحية على مبعدة ٢٠٠ ياردة فحسب من مكتبى (وهل هناك من يزعم أن المنظرين الفيزيائيين ليسوا بقوم عمليين ؟). فى الصباح التالى تركت حقائبى بالمكتب واتخذت سبيلى إلى المسرح لمقابلة جون. كان المسرح يقع فى واحد من أجلّ المواقع التاريخية إلى الجانب الشرقى من الجامعة. وفى نفس المكان توجد كنيسة سان دافيد (الثالوث المقدس) الاحتفالية، تلك التى شيدها ج.ف دانبى فى ١٨٩٨، والتى تمثل واحدا من أندر وأبهى نماذج العمارة القوطية بوسط ليدز. ويالها من جسارة صارخة من هيئة الجامعة إذ صارت الكنيسة الآن مقرا لمسرح الطلبة، بالإضافة إلى أنه واحد من آنق النوادى الليلية فى ليدز (ويعرف لدى قاطنيها باسم "هالو")، ويعلق البعض على ذلك بأنه يبدو جزءا من اتجاه سائد هذه الأيام فى أن يظهر الممثلون ورواد النوادي كمجموعات رئيسية، تنخرط بانتظام فى المراسم الدينية.

كنت فى زيارتى الأولى متوترا بعض الشىء، إذ لم أكن أعرف الكثير عن فن المسرح ولاعما كانوا يرغبون فيه. كنت أفكر.. ربما أمكنني - على أسوأ الاحتمالات - أن ألقى محاضرة تمهيدية عن ميكانيكا الكم وأعرض بعض الأشكال البيانية المطبوعة إذا اقتضى الأمر. وإذ دلفت إلى القاعة الرئيسية، ألفيت عددا من القوم متحلقين فى أحد الأركان وقد انهمكوا فى مناقشة ساخنة، وإذ رفعوا أبصارهم ورأونى حييتهم.. فرددوا: "مرحبا أستاذ فيدرال. هلاّ دخلت وجلست، فلدينا بعض الأسئلة لك". وبدا أن حضورى كان ذا علاقة بمناقشاتهم، فقد أحدثت رؤيتهم إياى قدرا لطيفا من الاضطراب وتحولا صادقا للاهتمام صوبي. وبعد أن تغاضوا عن المجاملات المعهودة، خاضوا مباشرة فى العمل، فسألونى عن شخصية بالمسرحية يقتضى دورها أن تظهر فى مكانين فى نفس الوقت ومدى معقولية ذلك، قائلين إنهم قد سمعوا قليلا عن نظرية الكم ونقل الأشياء عن بعد ويتساءلون إن كان ذلك فى حيز الإمكان.

وفيما بدا على اثنين من فريق الممثلين الاقتناع بالفكرة ظل الباقون متشككين فيما إذا كان هناك أى أساس فى نظرية الكم لهذا المفهوم الذى ينافى المنطق، وعندما أفصحت عن أن ذلك كان جزءا من عملى اليومى استولت عليهم الدهشة - وهو ماتفهمته - وإن كان أملهم قد خاب قليلا حين أوضحت أننى لم أجر تجارب فى هذا الشأن على البشر.

ومضيت فى شرحى موضحا أن جوهر فيزياء الكم هو مفهوم اللاحتمية واللاحتمية ترتبط بحقيقة أن جسيما ما من الممكن أن يحوز أكثر من حالة فى ذات الوقت (كأن تلقى مثلا بعملة مدنية فيظهر وجهاها فى آن واحد) ويعرف ذلك - فى الإصطلاح الفنى - بالتراكب الكمومى وتكمن الصعوبة الرئيسية فى فهم ميكانيكا الكم وتدريسها بالضبط فى طبيعتها المناقضة للبديهة والتى لايستوعبها الناس من أول وهلة (حتى أن أينشتاين قد توفى وهو متيقن من خطئها).

وهناك فى الفيزياء تجربة شديدة البساطة تصور هذا التراكب، وهو ما اتبعته فى حديثي لطاقم المسرحية : تخيل فوتونا (الذى هو جسيم الضوء) يلاقي جهازا لتفريق الأشعة. وجهاز تفريق الأشعة هو مجرد مرآة ذات طلاء فضىّ فوقها، وبتغيير مقدار الفضة يمكننا ضبط احتمال انعكاس الفوتون على السطح أو انتقاله خلالها. ولنقل إننا جعلنا الاحتمالين متساويين (ويكافئ ذلك احتمال سقوط العملة على أحد وجهيها، أى أن عدد مرات ظهور أحد الوجهين (H) معادل لعدد مرات ظهور الوجه الآخر (T) .

ومثلما يحتمل أن تستقر العملة على هذا الوجه أو ذاك، كذلك سيكون الحال مع الفوتون حين يقابل مفرق الشعاع حيث يتعادل احتمال ارتداده منعكسا مع احتمال نفاذه. والتجربة تحتوي على جهازى تفريق، أحدهما خلف الآخر بحيث أن الشعاع بعد ارتطامه بالمفرق الأول سيعاد توجيهه إلى الجهاز الثانى. ولتتخيل أن هذه التجربة تماثل إلقاء القطعة المعدنية مرتين، ففى هذه الحالة يكون لدينا أربع حالات احتمالاتها متساوية. لكن المثير للدهشة أننا مع الفوتون لانرى إلا حالة واحدة فقط على الدوام، ولاتظهر الحالات الأخرى البتة، فكيف ياترى تتم هذه الحيلة؟

فلنتخيل أن الفوتون قد مرّ يقينا من جهاز التفريق الأول، فسيصل إلى الجهاز الثانى عبر مسار معين.

فإذا لم يكن قد مر خلال المفرق الأول وانعكس بدلا من ذلك، فإنه سيدخل الجهاز الثانى عبر مسار مختلف، وفوق كل ذلك، فنحن لانعرف أى هذين السيناريوهين وقع، ولكننا موقنون من أن أحدهما حقيقى. وفى الجهاز الثاني بالمثل، أيا كان المسار الذى يصل عبره الفوتون إليه، قد يمر الفوتون خلاله أو قد ينعكس. ومن ثم سيكون للفوتون أربعة سيناريوهات ممكنة : انعكاس فانعكاس (RR) أو اختراق ثم انعكاس (RP) أو انعكاس فاختراق (PR) أو اختراق فاختراق (PP) وهو كما ترى مكافئ لسيناريو إلقاء العملة مرتين حيث نحصل على نتيجة مماثلة. وأنت تعلم أن نتيجة إلقاء العملة ستكون بالقطع واحدة من هذه البدائل الأربعة، ولكنك لاتعرف أيها سيحدث حتى ترى بعينى رأسك. لكن مانرصده فى حاله الفوتون الحقيقى بدلا من العملة - وياللغرابة - ليس كذلك، فالفوتون الحقيقى يخرج دائما عبر نفس الطريق من جهاز التفريق الثانى. فهل هذا مستحيل؟ إذا كان الفوتون بالقطع إما نفذ أو انعكس بعد مفرق الشعاع الأول، فلابد أن نتوقع المثل بعد المفرق الثانى، أى احتماليين متساويين للانعكاس والاختراق. ونظرا لأن ذلك لايقع على الإطلاق، فمعنى هذا أننا فى حاجة إلى إعادة تقييمنا لما حدث فى مفرق الشعاع الأول. والخلاصة الوحيدة التى بوسعنا الوصول إليها هى أن الفوتون قد انعكس ونفذ - وياللعجب - فى نفس الوقت، ويمكنني القول إنه حقيقة قد وجد فى موضعين مكانيين فى ذات اللحظة، وهى الطريقة الوحيدة التى يستطيع بها مفرقا أشعة أن يقترنا ليخرجا نفس النتيجة، مهما تكررت التجربة.

وجمت مجموعة الممثلين تماما - شأنهم شأن مؤسسي ميكانيكا الكم -، بيد أن حقيقة وجود الأجسام الكمومية فى العديد من المواضع المكانية فى نفس الوقت لم تعد مما يتطرق إليه الشك. ومنذ ميلاد ميكانيكا الكم، والعديد من التجارب المختلفة تؤكد هذه الحقيقة. فداومت على شرحي لبراهين أخرى تدلل على أن الفوتون يمكن أن يوجد فى موضعين مختلفين فى آن واحد:

هب أننا - بعد مفرق الشعاع الأول - بطأنا من سرعة الفوتون لو أنه انعكس، ولم نفعل لو أنه نفذ - ويمكن إجراء هذا الإبطاء بحشر قطعة قياسية من مادة ضوئية اسمها شريحة نصف الموجة(١)، وهي في حد ذاتها قطعة من بللورة ذات خواص معينة مرغوبة، مابين مفرقي الشعاع الأول والثاني. ومن الطريف أننا بمجرد إبطاء المركبة المنعكسة بعد مفرق الشعاع الأول، بمقدورنا تغيير مايحدث لدى مفرق الشعاع الثاني ! فإذا كان الفوتون فيما سبق - ودون حشر الصفيحة ذات نصف الموجة - اعتاد بانتظام ودائما أن ينعكس على المفرق الثاني، فبمكنتنا - بعد حشر الصفيحة ذات نصف الموجة - أن نجعله ينفذ باستمرار. وهذا هو الفارق اللافت بين الجسم الكمومي - مثل الفوتون - وأي جسم تقليدي آخر، مثل قطعة عملة معدنية. فلو أن الفوتون ذو سلوك جزافي مثله مثل قطعه العملة التي نلقيها لاستحال ذلك. فنحن لانملك شيئا - بعد إلقاء قطعة النقود الأولى - يجعلنا موقنين إيقانا مطلقا، من كيفية استقرار القطعة الثانية، فرميتا قطعة النقود مستقلتان تماما، فهما تقعان على التعاقب، ومامن سبيل لدينا لتغيير النتيجة طالما ألقينا القطعة الأولى أما في حالة الفوتون فإن الفعل الأول غير قاطع ومن ثم فكلا النتيجتين يظل احتمالها قائما، ومتساويا لكل منهما.

لايسعنا تفسير هذه التجربة - في نهاية الأمر - إلا إذا اعتبرنا أن الفوتون لاينعكس تماما، ولاينفذ تماما، وإنما يقوم بالعمليتين في ذات الوقت، وهو التفسير البسيط والوحيد الذي يقود إلى النتيجة التي نرصدها. ولكن، ماعساها تكون بالضبط الآلية التي تستغل هذه " اللاحتمية " لدى مفرق الشعاع الأول بحيث تؤدي إلى نتيجة حاسمة بعد المفرق الثاني ؟ تعرف هذه الآلية بالتداخل Interference، حيث تتدعم إحدى النتيجتين في حين تلغي الأخرى.

"بيد أن أمواج الماء تتداخل بدورها، فهل هذا تداخل كمومي أيضا ؟ " هكذا تساءل أحد طاقم التمثيل في اندهاش والإجابة هي : كلا، ففي حالة الأمواج التقليدية كأمواج

(١) شريحة نصف الموجة Half Wave Plate هي وسيلة ضوئية لتغيير حالة استقطاب موجة ضوئية تمر خلالها. (المترجم)

المياه، يحدث دوما تداخل بين موجة واحدة وأخرى مختلفة عنها تماما. أما فى مثال الفوتون، فإن الفوتون المفرد (يتداخل) مع نفسه ! وهى حالة تراكب مختلفة بالكلية، ولانظير لها فى الفيزياء التقليدية.

لاحظ - مرة أخرى - أننا لانصف تجربة فذة مفردة على الفوتونات، فقد أجريت ألاف التجارب التى صدقت كلها على هذه الظاهرة باستعمال أنواع أخرى من الجسيمات (على سبيل المثال الإلكترونات ونوى الذرات، والذرات، والجزيئات) وفى جميع الأحوال يثبت أن أى جسيم يمكنه الوجود فى مواضع مختلفة عديدة فى ذات الوقت. وهذه التجارب حقيقة موضوع تقليدى فى مناهج دراسة الكموميات للطلبة الجامعيين فى العالم أجمع. وبالإضافة إلى ذلك فنحن نعتقد أن البرهان حاسم بما فيه الكفاية على أن أى جسيم بالكون يمكن أن يتواجد فى العديد من المواضع فى نفس الوقت.

وإذ بلغنا هذه النقطة بدا على طاقم الممثلين أنهم اكتفوا، فقيل لى "حسبك يافلاتكو، فكل هذا طيب حقا، ولكن كيف يتأتى أننا لم نشاهد مطلقا نفس الشخص فى مكانين فى آن واحد ؟" والإجابة على سبب عدم رؤيتنا لمثل هذه الظاهرة تكمن فى ناحية أخرى من نظرية الكم، وهى القياسات. فالقياسات تؤثر فى حالة المنظومة المقيسة وتغيرها، فنحن من خلال القياسات نجبر المنظومة على التواؤم مع واحدة من حالاتها الكثيرة الممكنة والموجودة قبل إجراء القياس. ولنضرب مثلا. حتى لو أن بطل المسرحية كان قادرا على الوجود فى عدة بلدان فى آن واحد، فما أن يسأله شخص ما "فى أى بلد أنت ؟" فإن عليه أن يجيب بإجابة واحدة حاسمة. وبالمثل، فى حين أن بإمكانى الوجود فى أماكن متعددة آنيا، ففيما أنا هنا أتحدث إلى الممثلين، فحقيقة أنهم كانوا مصغين هو نوع من عملية قياس كانوا يجرونها علىّ، وهو تأثير متبادل يعني عدم استطاعتى الوجود فى أى مكان آخر آنيا.

وعلى ذلك فلا غبار على أن يحيا البطل حياة متوازية لحظيا فى بلد آخر مع أسرة أخرى كما يقضي خط الرواية، ولكن ليس هذا ماتخبرنا به نظرية الكم. فنظرية الكم تنبئنا بأنه ما أن يتبادل البطل التأثير مع شخص ما أو شيء ما، حتى يجبر على اتخاذ

وضع مفرد بعينه. فكل الأجسام فى الكون قادرة على أن تكون فى كل الحالات الممكنة إلا إذا ما أرغمت ـ بحكم القياسات ـ على أن تختزل هذه الحالات إلى حالة فرعية منها.

لذا، كيف يتأتى أن فوتونا يتبادل التأثير مع مفرق الأشعة أو الشريحة ذات نصف الموجة، لايمثل قياسات ؟ يحيلنا ذلك إلى لباب مشكلة القياسات فى ميكانيكا الكم، إذ يبدو أن بعض أنواع التأثير المتبادل تقوض الطبيعة الكمومية وتعطينا إجابة شافية، فى حين تحافظ أنواع أخرى على قدرة الجسيمات الفيزيائية على الوجود فى أماكن مختلفة عديدة آنيا. والقاعدة هى أنه إذا ما احتجنا لمعرفة القدر الدقيق لخاصية ما لجسيم (مثل موضعه المكانى أو كمية حركته أو طاقته) فعلينا أن ندمّر طبيعته الكمومية كى نحصل عليها، وإلا فبمقدورنا ترك الطبيعة الكمومية دون أن تمس.

وماهو أكثر شيوعا من إجبارنا للجسيم الكمومى على فقدان طبيعته الكمومية، هو إمكانية فقدانه لها بطريقة طبيعية من خلال التأثير المتبادل مع البيئة. وفى واقع الحال فكل الجسيمات فى معركة مستديمة مع البيئة، حيث تبغي البيئة دوما أن تعرف المزيد عن الجسيم الكمى، ويشبه هذا إلى حد كبير عملية قياس. ويمثل هذا أحد التحديات أمام الفيزيائيين، الذين يمضون أوقاتا مديدة فى التفكير فيها وتمحيصها. فليس فى وسعنا اليوم أن نمنع ذرة ما من التفاعل الحميم مع البيئة لمدة تزيد قليلا عن بضع ثوان (وهذا فى الوقت الراهن هو التقدير الأمثل، ويطبق فقط على بعض خواص الذرة) والنقطة المحورية هى أنه حتى داخل نطاق هذا الحيز الزمنى، نستطيع استعمال اللاحتمية الكمومية فى إنجاز الأمور المتواضعة مثل الحوسبة الكمومية والتشفير الكمومى.

وهذه اللاحتمية الكمومية، بمعنى الوجود فى حالات مختلفة فى ذات الوقت، لاتقتصر على المستوى المجهرى (الميكروسكوبى) فحسب، ولكنها بالمثل مسئولة عن كل أنواع التأثيرات الماكروسكوبية (العيانية) المذهلة التى نرصد فيما حولنا. ويمكننا استعمالها لنفهم كيف يستطيع التيار الكهربى أن يسرى دونما معاوقة أيا كانت فى الموصلات الفائقة، وكيف تتدبر النجوم النيوترونية أمرها بحيث تتغلب على التثاقل،

وكيف تنجح العناكب الضخمة فى تسلق الجدران الرأسية، ولماذا لاتسقط خلال فجوات أرضيتك مع أن هناك فراغا خاليا ضخما بين الذرات التى تكون هذه الارضية. إن الإجابة على كل هذه الاسئلة المحيرة تكمن فى تفهم نظرية الكم.

استأنفت مناقشتى مع ممثلي المسرح قائلا : ليس الإلمام بهذه اللاحتمية غير المحدودة أمرا بالغ الصعوبة، على أنه شديد الأهمية. وأنا لاأستوعب لماذا لايدرسون هذا لأطفال المدارس. ولوجه الحقيقة، لاتدرس ميكانيكا الكم هنا فى مدارس المملكة المتحدة كما ينبغي، ولاحتى فى مناهج الفيزياء بالمدارس العليا. وهو أمر مؤسف برأيي الشخصى. فكلما بكرت فى التعرض لهذا النوع من التفكير، كلما سهل عليك فيما بعد فى حياتك أن تتقبل فكرة أن هذا هو الواقع الحق. إن الراشدين شديدو التشكك والتصلب فى آرائهم، بل إننا أحيانا ما نجد خيالاتنا القاصرة تعمل ضدنا.

وأعتقد أن جون (المخرج)، خلال هذه المناقشة، قد وافقنى، فقد اتخذ خطوة إيجابية بأن صمم مسرحية أخرى تتناول نظرية الكم من أجل أطفال المدرسة العليا فى سنواتها الأولى. وإنني لأتطلع لليوم الذى يظهر فيه هؤلاء النشء فى مجلات البحث العلمى، ليخبرونا - نحن أرباب الزمن الغابر - كيف جانبنا الصواب، وكيف أن بنظرية الكم من القدرات والإمكانات ما يفوق مااعتقدنا نحن أنفسنا.

أحسست - وأنا فوق خشبة المسرح - أنني استأثرت بكل الحديث، بينما اقتصر دورهم على الإصغاء لي ومن ثم فقد سألتهم عن موضوع المسرحية. وتبدأ قصتها بتقدم إحدى شخصياتها الرئيسية ليحكى رواية عن جاسوس بالولايات المتحدة (ولدى سماعي كلمة جاسوس تدخلت)، وقلت "ولماذا لاتحكي لهم عن واحد من أجل تطبيقات نظرية الكم الباهرة، ألا وهو نظام التشفير وفك الشفرات، فلعلهم يستطيعون دمجه فى نسيج المسرحية ؟".

وعلم الشفرات، الذى يُعنى بجعل الاتصالات أكثر سرية وأمانا وبكيفية اقتحام اتصالات الغير (أى فن تصميم الشفرات وفكها) قد تطور بصورة ملموسة مع استعمال قواعد نظرية الكم. وهو واحد من أبسط تطبيقات نظرية الكم اليوم وأقواها فاعلية.

وتعود الحاجة إلى سرية الاتصالات فى التاريخ إلى فجر الحضارة. فإن الإسبرطيين الذين يعدون أفضل المحاربيين بين قدامى الإغريق استحدثوا طريقة تشفير بالغة التعقيد، باستخدام أداة خاصة وذلك قبل ميلاد السيد المسيح بأربعمائة عام.

فعندما كانت نتيجة المعركة الحاسمة مع الأعداء متوقفة على تبادل بعض المعلومات المصيرية بين القواد الاسبرطيين، كان من الأهمية بمكان ألا يدرك الأعداء فحوى رسائلهم المتبادلة حتى لايفيدوا منها. كانت هذه الأداة الخاصة عبارة عن عصا طويلة (والكلمة نفسها نعنى عصا) ملفوف حولها قطعة من القماش أو جلد الماعز مدون عليها رسالة ما. وكان مفتاح السر يكمن فى أنه عندما تكون قطعة القماش مطوية كانت حروف الرسالة تبدو مختلطة تماما، ولابد للمرء من العصا نفسها (أو عصا لها نفس المحيط) كى يحل شفرة الرسالة الأصلية، وإلا ما أمكنه التيقن من ترتيب الحروف ولا من معرفة الرسالة الأصلية.

ويعرف أسلوب الإسبرطيين فى تشفير الرسائل عموما بالتباديل permutation. والتباديل هى تسمية رياضية رسمية لمجموعة من الحروف المختلطة فى جملة بحيث لايتيسر فهمها. وأى نوع من خلط الحروف سيؤدي الغرض طالما أنها مصوغة بطريقة يعرف الطرف المتلقي كيف يفرزها.

كانت هناك طريقة أخرى للاتصالات السرية استعملها القدماء، وهى الإبدال. وقد كان أول من استعملها " يوليوس قيصر " قبل ميلاد السيد المسيح بنحو خمسين عاما. كيف كان يوليوس قيصر يجري اتصالاته السرية بقواد جيشه ؟ كانت الفكرة جمة البساطة إذ كان يكتب الحروف فى ترتيبها الألفبائى:

A-B-C-D-E-F-G ثم يرحل الحروف ويستخدم الترتيب بعد هذا الترحيل بدلا من الترتيب الأصلى J-I-H-G-F-E-D. وهكذا كلما ظهر حرف A فى جملته استبدل به حرف D، كما تصبح E بديلا من B وهكذا. ومن شأن أخر ثلاثة حروف هجاء أن

تمثلها ABC وهكذا يستحيل الأمر: "اهجموا غدا ATTACK TOMORROW" إلى الجملة المشفرة "DWWDFN WRPRUURZ" وهى جملة لا يفهم منها شيء. وهكذا فى كل حالة – ما لم نكن على علم كامل كيف يتم ترحيل الألفباء أو محيط العصا المستخدمة فى تشفير الرسالة - لن يكون بمقدورنا فك شفرة الاتصالات. وعبر العصور القديمة تطور التشفير بالإبدال وتباديل الأرقام كثيرا عن زمن جلد الماعز والقماش المستخدمة آنذاك، حيث هناك الآن نماذج تشفير جمة التعقيد عن طريق الحوسبة تعتمد على هذه الخدع التى لايمكن عمليا اختراقها (مالم يكن بحوزتك ١٠٠٠ حاسوب على التوازى أو فسحة من الزمن مقدارها نحو ١٥٠ عاما).

وما هو مثير للدهشة أن الإبدال والتباديل مازالتا من ضمن أكثر الحيل شيوعًا لتشفير الأسرار رغم سهولة اقتحامها من داخلها. ومما يبعث على الارتياح أن تعلم أنه فى سبيل اقتحام النماذج الحديثة من الشفرات يلزمك نحو ١٠٠٠ حاسوب على التوازي أو ١٥٠ عاما لمعالجة البيانات.

ولكن... ومع التسارع فى نمو قدرات الحوسبة مع الزمن، إلى متى ستظل هذه الأساليب مأمونة ؟ فى الحقيقة ومن بين عشرات الآلاف من أساليب التشفير المعروفة لنا، يمثل نظام One Time Pod النظام الوحيد الذى يستعصي على الاقتحام كما أمن شانون على ذلك، وهو خوارزم[1] تشفيرى لايسهل اقتحامه من خلال مد قدرتنا الحوسبية إلى مالا نهاية، مبنى على أسس قوية. وإذا مانفذ بطريقة صحيحة مامن قدرة حوسبية أنى كان مقدارها حاليا أو مستقبلا يمكنها اختراقه. وهو - نظريا - جم البساطة ولايحتاج إلا إلى ٤ قواعد يتعين اتباعها للوصول للتأمين التام:

---

(١) الخوارزم : Algorithm يقصد به سلسلة من الأساليب المعيارية والتعليمات التى تصف طريقة الحل التدريجى خطوة خطوة لحل المشكلة. (المترجم)

١ - ينبغى أن يتقاسم الجانبان الراغبان فى التواصل بأمان كلمة سر معروفة لكليهما مسبقا، وهذه الكلمة تستخدم لتحويل رسالتك إلى صيغة مشفرة ثم لتحويلها مرة أخرى إلى الصيغة الأصلية. وهذه الكلمة لايعرفها إلا المتواصلان وليس أى شخص آخر. ومتى استقرّ الطرفان على الكلمة فيمكنهما التواصل بسرية باستخدامها فى أى وقت مستقبلاً.

٢ - كلمة السر التى تستعملها لتشفير رسالتك ينبغى أن تكون عشوائية تماما وإذا كان ثمة سبيل للتنبؤ بما إذا كان الرقم التالى صفرا أو واحدا، فلا تعود الشفرة صالحة للاستعمال، حيث إن ذلك يجعل أسلوب التشفير معرضا لاختراق مبرمج.

٣ - يجب أن تكون الكلمة المفتاحية بطول الرسالة ذاتها، بمعنى أن يساوى عدد الشذرات التى تكون الكلمة، عدد الشذرات التى تكون الرسالة، فإذا كانت أقصر فأسلوب التشفير معرض للاختراق.

٤ - لاتستخدم كلمة السر إلا مرة واحدة، فإن تكرارها يجعل الشفرة عرضة للاختراق أيضا.

كل هذا حسن، لو أمكننا تحقيق كل ذلك لقدر لنا أن نؤمن اتصالاتنا تأمينا تاما، ولقدر للعديدين من المتخصصين فى فك الشفرات فى كل العالم أن يفقدوا وظائفهم. ولكن الواقع أن فن فك الشفرات مازال حيا، بل ويتطور لأن نظام ال OTP جم الصعوبة فى استعماله. وباستعراض الأربعة مطلوبات المذكورة آنفا، يبدو المطلبان٣, ٤ سهلين بما يكفى، وقد يثير المطلوب الثانى دهشتك (فما معنى كلمة سر عشوائية تماما ؟) أما المطلب الأول فيبدو سخيفا بحق، فما الحكمة فى أن شخصين يحتاجان بالفعل أن يتقاسما كلمة سر كى يتبادلا رسالة سرية ؟ وأيا كانت الطريقة التى استعملت لتقاسم كلمة سر بطريقة آمنة فهى بالتأكيد تصلح لتبادل الرسائل السرية بأمان، ويؤول الأمر

إلى أن يصبح نوعا من القصة الهزلية "أمسك ٢٢ catch 22"(١) : أنت فى حاجة لكلمة سر كى تتواصل فى السر، ولكنك أيضا تحتاج أن تتواصل فى السر لتنشئ كلمة سر فى المقام الأول. عن مسألة التواصل الآمن تماما (بافتراض تحقق المطلب الثانى) تختزل آنذاك إلى مشكلة القدرة على تقاسم كلمة سر قبل كل شيء. وتعرف هذه المشكلة" بمشكلة توزيع كلمة السر" وهى واحدة من التحديات الرئيسية التى تجابه علم التشفير والتى لم يصل فيها علم الحواسيب التقليدية ولاعلوم الهندسة لعلاج ناجع.

وها هنا تتدخل نظرية الكم، وهى لاتساعدنا فقط فى المطلب الأول وبالتالى فى حل مشكلة توزيع كلمة السر، وإنما تعيننا بالمثل فى المطلب الثانى : أن تصمم كلمة السر بحيث تكون عشوائية تماما، وسنبحث هذه النقطة الأخيرة تفصيلا فى الباب العاشر.

تقدم نظرية الكم لنا حلاً مبتكراً لمشكلة توزيع كلمة السر.فباستغلال حقيقة أن أى قياس لتحديد حالة ما يغير تلك الحالة تغييراً غير قابل للإلغاء، يمكننا معرفة متى عدلت الحالة، وهو ما بحثناه سابقا عندما ذكرنا أن كل شذرة من كلمة السر يمكن أن توجد فى العديد من الحالات المختلفة آنيا، ومن ثم فإن أى مسترق للسمع يحاول سراً اقتناص أية معلومة عن طريق كلمة السر، سيكون تدخله بمثابة قياس يجبر الشذرة على أن تتبع حالة أو أخرى.ويمكن للمرسل والمستقبل حينئذ تحليل مجموعة فرعية من كلمة السر كى يحددا ما إذا كان هناك أى استراق للسمع، فإن لم يجدا فإنهما يستعملان الكلمة، وإلا استبعدا كل شيء وبدا العملية من جديد. وبطبيعة الحال، قد لايكون التلصص المرصود من فعل عامل بشرى، وإنما نوع من تشويش بالخط. وعلى كل حال، ولضمان الأمان، يستحب التزام جانب الحذر وافتراض أسوأ الاحتمالات.

---

(١) أمسك ٢٢ Catch 22 : يقصد به موقف متناقض لا يستطيع المرء فيه تجنب مشكلة ما نتيجة قيود أو قواعد متعارضة. والاسم عنوان لقصة تاريخية هزلية ألفها الكاتب جوزيف هيلر نشرت عام ١٩٦١ وتدور أحداثها إبان الحرب العالمية الثالثة. (المترجم)

اكتشف هذه المقارية فى بداية عقد الثمانينيات الأمريكى تشارليز بينيت Charles Bennett والكندى جيليس براسارد Giles Brassard، وتم تنفيذها بنجاح في تطبيقات متنوعة.

وقد اقترح فيزيائى أكسفورد آرثر إيكرت Arthur Ekert ـ مستقلا ـ طريقة بديلة حازت شعبية كبيرة. وليس معدل الشذرات حاليا بالغ السرعة، ولكنك إذا رغبت فى إرسال رسالة مفردة فى أمان مطلق، فقد تنجح فى ذلك. ففى أكتوبر ٢٠٠٧ مثلا أتم نيكولاس جيسين Nicolas Gissin اختبار نظام تشفير كمومى إبان الانتخابات الوطنية السويسرية بجنيف. وقد استعملت سلطة مقاطعة جنيف القضائية خطا منفصلا خصصته لإحصاء بطاقات الاقتراع وإيصال المعلومات فى سرية تامة بين مكتب الإحصاء ومحطة الاقتراع المركزية، وكانت الرسالة موجزة لم تتطلب سوى بضع شذرات، ولكنها كانت ذات أهمية قصوى إذ لم يكن السويسريون راغبين فى أدنى تلاعب فى النتائج. وكان هذا تطبيقا أصيلا لنظرية الكم فى حل مشكلة لم يكن حلها بالطرق التقليدية ميسورا.

كل هذا طيب وحسن، ولكن إلى أين يصل بنا ؟ فالسؤال المحورى : هل يتأثر مفهوم المعلومات بإدخال نظرية الكم ؟ وكيف ؟ الآن، وبدلا من الحصول على نتيجة قاطعة ـ وكما تبينا فى الأبواب السابقة ـ تخبرنا ميكانيكا الكم بإمكانية حصولنا على نتائج متعددة. وعندما تحدثنا عن التراتب الاجتماعى فى الباب السابق، كنا ننظر إلى المعلومات كقوة تربط بين فصائل المجتمع المختلفة وبالمثل، تمثل المعلومات هنا قوة رابطة بين الجوانب المختلفة للمنظومة الكمومية .

ولعل المرء يعتقد أننا كنا منصفين بما فيه الكفاية فى افتراضنا أن المعلومات المتبادلة محال أن تتخطى نسبة ١٠٠٪ (بمعنى أنها يستحيل أن تتجاوز الكمال). ولو أن كل الأطفال الملتحقين بمدارس جيدة يفلحون فى حياتهم لأمكننا القول بأن هناك تبادل معلومات بين المدارس الجيدة والحياة الناجحة بنسبة ١٠٠٪ (أيا كان تعريفنا لمفهوم

الحياة الناجحة). وليس بوسعك بالتأكيد أن تتقاسم أكثر من ١٠٠٪ من المعلومات. على أية حال فالمنظومات الكمومية يمكنها بالفعل تقاسم المعلومات بنسبة تزيد عن ١٠٠٪ مهما بدا الأمر شاذا. وتحتاج أية نظرية معلومات للقدرة على تناول ذلك كي تصف الواقع بحذافيره، وإلا كانت هناك نواح من الواقع غير قابلة لأن يتوصل إليها فهمنا.

ولتفسير كيف أن تبادل المعلومات قد يتجاوز ١٠٠٪، تخيل منظومة كمومية بسيطة من حالتين مثل اتجاه دوران إلكترون ما وباستعارتنا - مجازا - للخذروف يمكننا اعتبار الإلكترونات بمثابة (خذاريف) صغيرة، ديور كل منها مستقلا عن غيره، اعتمادا على الظروف الخارجية. ويعتبر دوران الإلكترون - شأنه شأن الخذروف - إما في اتجاه عقارب الساعة أو في عكس اتجاه عقارب الساعة سواء كان محور الدوران أفقيا أو رأسيا أو بزاوية ميل ٤٥ْ وهكذا. وللغرابة إذا ماقسنا دوران الإلكترون في وقتين مختلفين فإن المعلومات المتبادلة بين القياسين يمكن بالفعل أن تتجاوز أي قيمة قد نكون فكرنا فيها مسبقا. والدوران في أزمنة مختلفة يمكن - في الفيزياء التقليدية - أن يرتبط بالاتجاه الأفقي أو الرأسي، بحيث إذا أسفر قياس الدوران الأول عن أنه أفقي في اتجاه عقارب الساعة، وكذلك فعل القياس الثاني، فيعني هذا تبادلا للمعلومات بنسبة ١٠٠٪. وعلى العكس من ذلك يسلك الإلكترون في الواقع سلوكا كموميا بحيث يمكن ربط قياسات الدوران في الاتجاهين الأفقي والرأسي (بل وفي كل الاتجاهات الأخرى) في آن واحد، وذلك لأن الإلكترون يمكنه أن يدور - آنيا - في اتجاه عقارب الساعة وفي عكس اتجاهها، وهو أمر ليس في استطاعة الخذروف. ويمكننا في هذه الحالة - القول بأن تقاسم المعلومات يتم بنسبة ٢٠٠٪ ويعرف هذا الترابط باسم التشابه الكمومي[١] quantum entanglement، أو (السلوك الشبحي عن بعد) طبقا لتسمية أينشتاين له. وهناك طريقة فعالة على نحو

---

(١) يقصد بالتشابك الكمومي تأثير فيزيائي متبادل بين الجسيمات رغم وجود مسافات كبيرة بينها مما يقود إلى ارتباطات في الخواص الفيزيائية المقيدة لتلك الجسيمات. (المترجم)

خاص لرؤية المعلومات المتبادلة بين الجسيمات، وتنسب إليها العبارة الشائعة "إن المجموع - على الأقل - يبلغ فى كبره أيا من أجزائه". هب أن لديك صديقين "ستيف وبريان، ولكل منهما الخيار فيما سيفعل فى خطوته التالية. فستيف يمكنه إما أن يستمر فى وظيفته الحالية أو أن يتركها ليلتحق بوظيفة أخرى، ويواجه براين ذات الموقف، فإذا كانا غير متيقنين بالمرة من مستقبليهما، فسننسب لكل منهما شذرة واحدة من المعلومات، حيث إن كلا منهما يختار ما بين إمكانيتين. ومن الجلىّ الآن أن المعلومة المضمرة فى المستقبل المشترك لستيف وبراين هى - على الأقل - بحجم المعلومة المفردة لدى كل منهما. ويسهل رؤية ذلك إذا تخيلنا أننا قد وجدنا أن ستيف ترك وظيفته، ومن ثم لم يعد هناك أى لايقين بخصوص مستقبله. ومهما يكن فنحن مانزال نجهل ماذا سيفعل برايان، وهذا اللايقين بحجم شذرة واحدة تكمن بالكامل فى اختيار براين. ويماثل هذا بالضبط قولك "سأتناول شرابا إذا تناولت أنت" وهو المثل الذى أوردناه سابقا. ومن الطريف أنه برغم أن الرابطة السببية فى السيناريوهين مختلفة، فإنها تقود إلى نفس المعلومات المتبادلة. وبالإضافة إلى ذلك لاتتوقف المعلومات المتبادلة على السببية مطلقا. فمن المعقول أن الأمرين اللذين ليس بينهما رابطة سببية أيا كانت يمكن أن يتقاسما ١٠٠٪ من الروابط.

وبوسعنا الآن أن نصوغ كل ذلك بدلالة الإنتروبيا التى رأينا من قبل أنها مقياس يعكس درجة اللايقين فى المنظومة. فمن الناحية التقليدية ينبغي أن تكون إنتروبيا المنظومة بأكملها - على الأقل - فى حجم إنتروبيا أى جزء منها. ومن هذا المنطلق يفيدنا التفكير فى الإنتروبيا على أنها مساحة.

فمساحة الولايات المتحدة لاتقل عن مساحة إحدى ولاياتها، وحتى إذا تداخلت بعض الولايات وضمت أقاليم مشتركة فسيظل الأمر كذلك. فإذا كنت تبحث عن شخص ما فى الولايات المتحدة فإن عدم تيقنك من مكان وجوده سيكون - على الأقل - بحجم

عدم تيقنك إذا كنت تعلم بوجوده بمكان ما بكاليفورنيا، وعدم اليقين فى وجوده بكاليفورنيا لايمكن أن يربو على عدم اليقين من وجوده فى الولايات المتحدة برمتها نظرا لوجود أماكن كثيرة إضافية فى بقية الولايات المتحدة.

ومما يدعو إلى الدهشة، أن هذه العبارة لم تعد صحيحة فى عالم ميكانيكا الكم. ففى النظير الكمى لهذا الموقف ربما تزيد صعوبة العثور على الشخص إذا ماركزت بصورة خاصة على كاليفورنيا بأكثر من بحثك فى الولايات المتحدة بأسرها. ففى عالم الكموم المناظر تنقلب مساحة كاليفورنيا - بكيفية ما - بحيث تصير أكبر من مجمل مساحة الولايات المتحدة !

ما هو دليلنا إذن على أن المنظومات الكمومية تسلك هذا السلوك ؟ حسنا.. إننى أحدس أنك تتساءل ما إذا كان ذلك حقا، إذ يبدو معاكسا للبداهة على خط مستقيم. ولكن الأمر صحيح، بل بمقدورنا إجراء تجربة على إلكترونين دوارين مثلا كاختبار، بحيث إنه ما من لا يقين إطلاقا فيما يختص بحالتهما معا، أما إذا ما نظرنا لكل منهما على حدة فسيبدو والأمر فوضى عارمة، وبعبارة أخرى يحتاج كل منهما الآخر لوصف حالتهما بالكامل. ويحدث هذا فى الظروف الكلاسيكية، حيث إذا كانت إحدى المنظومات فى حالة فوضى، فإن إضافة منظومة أخرى لايقلل من مقدار هذه الفوضوية. وفى الختام يعود هذا إلى حقيقة أن الإلكترونين بينهما رابطة فائقة فى فيزياء الكموم - وكأنهما توأمان متماثلان - أى أن هناك تبادل معلومات إضافيا يتجاوز المعدل.

إذن، إذا كان هذا هو الأسلوب الذى يتبعه الواقع حقيقة، هل بوسعنا أن نظل على وصفه بدلالة المعلومات ؟ والرد بالإيجاب، ولكن إنتروبيا شانون لاتكفي كما هو واضح. فالمشكلة مع المعلومات لدى شانون أنها دائما ماتخبرنا أن كم المعلومات الإجمالية يضاهي - على الأقل - المعلومات فى الأجزاء.

ولكن - وكما ناقشنا - لاينطبق هذا على المنظومات الكمومية. لذا فالمعلومات تتطلب معالجة أكثر عمومية مما اقترحه شانون .

ومفتاح التغيير هو تحديث المفهوم التقليدى للشذرة إلى مايسمى بالشذرة الكمومية (الكيوبيت qubit). والكيوبيت هى منظومة كمومية قادرة - خلافا للبت أو الشذرة - على الوجود فى أى توافق بين الحالتين : صفر، ١. وفيما عدا هذا تبقى مكونات نظرية شانون الأخرى كما هى دون أن تمس. ولتحويل المعلومات لأعداد كمية نعتبر إنتروبيا الكيوبيت بديلا لإنتروبيا البت، ولقد فعل هذا لأول مرة تلميذ آخر لجون هويلر، هوبن شوماخر Ben schumakher، الذى نحت مصطلح الكيوبيت. ورغم أن التحول من الشذرات إلى الكيوبتات يلوح هزيل الشأن فإن له تضمينات جدّ عميقة. ولنعد إلى المثال عن المجموع الذى يقل عن بعض أجزائه، فالإنتروبيا الكمومية لمنظومتين كموميتين مرتبطتين يمكن الآن أن تكون حقا أقل من إنتروبيا كل منهما على حدة. ونظرية المعلومات الكمومية هى فرع مشتق من نظرية المعلومات لشانون، إذا أنها تختزل - فى حالات خاصة - إلى نظرية شانون. والشيء المحورى فى أن المعلومات الكمومية تخبرنا بالواقع هو أن هناك قدراً كبيراً منها لم يزل مختزنا لم يستغل بعد من حيث مايمكننا إنجازه فى معالجة المعلومات. وقد بدأ بالفعل استغلال نظرية المعلومات الكمومية فى تصميم جيل جديد من الحواسيب فائقة السرعة، ونظم تشفير عالية الأمان بل - ولك أن تصدق أو لا تصدق - فى نقل الأجسام عن بعد عبر مسافات شاسعة.

لعل القلق قد ساور القارئ من حيث إن تحديث المعلومات الكمومية سيبطل - بغتة - كل النتائج التى استخلصناها فى الجزء الأول من كتابنا، على أن الحالة فى واقع الأمر على عكس ذلك. كان بمقدورنا أن نقرب موضوع الدنا من منظور المعلومات الكمومية، إلا أن النتائج - باعتبار الظاهرة عيانية باستخدام نظرية المعلومات التقليدية - تبدو ممسكة بإحكام بزمام أهم وظائف الدنا. ويمكن قول المثل عن أية منظومات معالجة معلومات ذكرت بجزء الكتاب الأول، فيمكن إعادة اشتقاق جميع هذه المنظومات من منظور نظرية المعلومات الكمومية، إلا أنه - ولأنها منظومات عيانية، فإن التقريب الذى تتيحه نظرية المعلومات التقليدية كاف. ولايعني هذا أن الفيزياء الكمومية لاتنطبق

على الجسيمات المجهرية، بل على العكس يصلح تطبيقها على كل مادة بالكون. وكل ماهنالك هو أن تنبؤاتها أقل تميزا بكثير من الفيزياء التقليدية فى ذلك المستوى. ومن الطبيعى إذن أن نؤثر عدم إرهاق أنفسنا بإضافة تعقيد جديد باستخدام الفيزياء الكمومية دونما ضرورة.

ومن منظور المعلومات يمكننا تلخيص اثنين من أهم ملامح نظرية الكم، أولهما أن الكيوبتات يمكنها التواجد فى تنويعات من الحالات المختلفة آنيا، وثانيهما أننا حينما نقيس الكيوبيت فإننا نختصره إلى نتيجة تقليدية، أى نحصل على نتيجة قاطعة حاسمة.

وكلا الملمحين السابقين قد يكون ذا جانب إيجابى أو سلبى، اعتمادا على التطبيق. وبالنظر للمفهوم أن الكيوبتات يمكن أن توجد فى تنويعة من الحالات المختلفة آنيا، فالجانب الإيجابى هو أن للكيوبت بنية أكثر تعقيدا بكثير من الشذرة التقليدية. ويسبغ هذا على عملية معالجة المعلومات الكمومية قوة ومرونة بأعلى مما هو متاح مع نظرية المعلومات التقليدية. وعلى العكس من ذلك فى بعض الحالات كما فى حالة علم التشفير، إذا لم يستوف المتلقي التفصيلات كاملة، فسيعجز عن عمل شفرة الرسالة دون إتلاف الحالة، وبالمثل مع القياسات. أما الجانب الإيجابى فقد شرحنا كيف أن التشفير الكمومى يتيح لنا استشعار أى تلصص أو استراق للسمع. أما الجانب السلبى فيه، فهو أنه يختزل الكيوبت إلى شذرة ومن ثم يختزل قدرتها على معالجة المعلومات. ومزايا وعيوب المعلومات الكمومية تشاهد أحسن ماتشاهد فى الباب التالى الذى يتناول الحوسبة الكمومية.

النقاط الجوهرية فى الفصل الثامن :

- ظهرت فيزيائيات الكم من مائة عام، لتوصف سلوك الجسيمات الضئيلة.

- هناك ملمحان يديران للعقل فيما يختص لفيزيائيات الكم، وبميزانها عن أى شىء آخر خبرناه حتى الآن، أحدهما هو إمكانية وجود الجسيمات فى حالتين مختلفتين أو أكثر فى ذات الوقت، فيمكن كمثال لذرة أن تكون هنا أو هناك آنيا. والملمح الثانى هو الجزافية - هى مظهر أصيل - فى سلوك المنظومات الكمومية. فنحن - ببساطة - لانستطيع فى معظم الحالات أن نقول ماذا ستفعل منظومة كمومية ما حتى عندما نكون على بينة من كل شىء خاص بها.

- تفهمنا أن فيزياء الكم. هو المعلومات كفيل بأن يعاوننا على أن نطور من تطبيقاتنا فى العالم الواقعى كى نحقق مستوى أعلى من الاتصالات.

- نظام التشفير الكمومى هو واحد من المجالات التى أتاحت فيها فيزيائيات الكم مستوى أعلى من معالجة المعلومات، حيث بمقدورنا الآن أن نجرى اتصالاتنا بسرية وأمان أكثر مما كنا نتخيله ممكنا.

- ليس نظام التشفير الكمومى مجرد بنية نظرية، بل تم استخدامه عمليا بنجاح عبر المسافات الشاسعة.

(٩)

ركوب الموجة - الحواسيب فائقة السرعة

هل هناك من لم يسمع بعد عن الحاسوب؟ فى مجتمع أصبح محكوما بالكامل بهذه الصناديق الترانزستورية التى تغزونا كالطفيليات، ربما لم يعد هناك من لم يتأثر بها سوى بعض بقايا قبائل منعزلة فى حوض الأمازون أو حول صحراء كالهارى. لقد غزت هذه الأجهزة كافة النواحي بمجتمعاتنا، بدءا من تنظيم أمورنا المالية وطيران طائراتنا، إلى تسخين أطعمتنا والتحكم فى ضربات قلب البعض. وسواء كان حديثنا عن الحواسيب الشخصية، أو الحواسيب المركزية المرتبطة بالعديد من الحواسيب الفرعية أو الحواسيب المتوراية داخل هواتفنا النقالة، أو أفران الموجات الميكرونية: فيصعب علينا أن نتخيل عالما خلوا منها!

على أن كلمة "حاسوب" تعنى أكثر بكثير من مجرد جهازك الشخصى من طراز Apple Mac أو غيره. فالحاسوب ـ على أكثر المستويات تبسيطا، هو أى جهاز يتقبل التعليمات، ويجري الحسابات بناء على تلكم التعليمات. وبهذا المعنى، لايقتصر مدلول الحواسيب على الآلات أو الأجهزة الميكانيكية، فظواهر الفيزياء الذرية، بل والكائنات الحية هى بالفعل صور من حواسيب تامة الصلاحية (بل وفى كثير من الأحيان ذات قدرات أعلى مما بمكنتنا أدواؤه عبر طرز الحواسيب الحالية) وسنتناول طرز وبدائل الحواسيب فيما سيلى من هذا الباب.

تأتي الحواسيب فى تنويعة من الأشكال والأحجام، بل إننا لانتعامل مع بعضها على أنه حاسوب على الإطلاق (هل فكرت فى أن ثلاجتك هى بمثابة الحاسوب ؟)

وبعضها قادر على إجراء الملايين من العمليات الحسابية فى الثانية الواحدة، بينما يستغرق غيرها أزمانا مديدة فى إجراء أبسط الحسابات، إلا أنه - من الناحية النظرية - يمكن لأى حاسوب أداء أى عملية يستطيع حاسوب آخر أداءها.

فالحاسوب المتواري داخل ثلاجتك المنزلية - إذا ما أعطى التعليمات السليمة، وسعة الذاكرة الكافية، يمكنه - على سبيل المثال - أن يحاكى نظام "مايكروسوفت ويندوز". وربما يعتبر البعض من السخف أن نضيع الوقت فى استعمال الحاسوب المتضمن داخل ثلاجتنا فى غير الغرض الذى صمم من أجله، ولكنها حقيقة فى غير محلها، فبيت القصيد هو أنه يتبع نفس خطوات الحسابات مثله مثل أى حاسوب آخر، وبالتبعية يمكنه - بطريقة أو بأخرى - أن يصل فى خاتمة المطاف إلى نفس النتيجة.

وينبع هذا المفهوم مما يعرف اليوم بأطروحة "تشيرش - تورينج Church - Turing thesis" والتى تعود إلى العام ١٩٣٦، وهى افتراضية أن طبيعة الأجهزة الحاسبة الميكانيكية، مثل الحواسيب الإلكترونية. فقد أدخل ألان تورينج وألونزو تشيرش برنامجا لعمل الحسابات على نحو تدريجى، ونموذجا ميكانيكيا بحتا للحساب، وهو الذى تتبعه كل الحواسيب الحديثة اليوم. وتتطرق الأطروحة إلى أن أية حسابات نقوم بها يدويا، بالمقدور إجراؤها على نموذج لجهازهما الحسابى صيغت فى هيئة خطوات تدريجية (وذلك بافتراض توفر الوقت وسعه التخزين الكافيتين). ولقد أفضى هذا إلى مفهوم "الحاسوب الشامل" الذى صممت على أساسه كل الحواسيب الحديثة.

لم يكن من الممكن أن يمر التوجه نحو عمل نماذج مصغرة من تكنولوجيا الحواسيب دون أن يرصده أحد، فقد صارت الحواسيب بصفة خاصة أصغر فأصغر (ومن ثم أعلى سرعة، فتقارب الدوائر الكهربية يعني مسافات أقصر لقطعها) وذلك منذ أن شيد فون نويمان أول حاسوب فى أربعينيات القرن العشرين. وفى أواخر الخمسينات، رصد جوردون مور Gordon moore، وهو أحد مؤسسي شركة إنتل intel - وكان آنذاك رئيس مجلس إدارتها - رصد اتجاها طريفا وملحوظا.

كانت سرعة الحواسيب وسعة ذاكرتها تتضاعف كل سنتين أو نحو ذلك. سجل مور هذا التوجه فى واحدة من أوراقه البحثية، ومنذ ذلك الحين صارت هذه الظاهرة تعرف "بقانون مور".

ولكن، لماذا ترسخت صحة قانون مور فى آخر خمسين عاما ؟ إنه ليس بالتأكيد قانونا طبيعيا، فهو يتوقف على وجود البشر، ويرتبط بدرجة عالية بعوامل تدخل تحت نطاق سيطرتنا، ولعل تسميته - لهذا السبب - بملحوظة مور بدلا من قانون مور هى الأوفق، بل إن الناس الأكثر ميلا إلى الاستهانة بصناعة الحواسيب والنيل منها يقولون إن قانون مور عد صحيحا محاباة لمور (تذكر أنه كان المدير التنفيذى لإنتل).

وبرصده لهذا القانون، وضع مور نموذجا تحتذيه الشركات الأخرى، ونظرا لما لشركة "إنتل" من مكانة مرموقة فى دوائر صناعة الشرائح الميكرونية فقد صار قانون "مور" بمثابة النبوءة التى تتحقق بذاتها.

وإذا ماداومت التكنولوجيا على إذعانها "لقانون مور" فإن الاطراد المستمر نحو تصغير حجم الدوائر الكهربية المدمجة على الرقائق السليكونية ستؤول بها فى نهاية المطاف إلى نقطة، حيث لن يتخطى حجم المكونات المفردة منها بضع ذرات، فماذا سيحدث حينئذ ؟ وأين ترانا نتجه بعد ذلك ؟ وإلى أى مدى سيصل حجم الحاسوب وسرعته؟

ومهما يكن الأمر، فهناك يقينا حدود طبيعية لهذا النحو الأسى. ونحن فى الوقت الراهن نستعمل حوالى ١٠٠ إلكترون لتشفير شذرة واحدة من المعلومات، بيد أننا - وفى غضون عشر سنوات - ربما لن نحتاج إلا لإلكترون واحد لنفس هذا التشفير. فهل عسانا نتخطى هذا الحد؟ وماهو المدى الأقصى لذلك ياترى ؟ وإذا كان للفيزياء أن تخبرنا بشىء ما، فهو أننا ينبغي ألا نغالى فى التيقن من استنتاجاتنا إلى حداليقين. فالتاريخ حافل بالمقولات التى تشي باستحالة شىء ما مما تثبت إمكانيته فيما بعد (ولنستحضر مثلا مقولة لورد كلفن عن استحالة طيران آلات أثقل من الهواء، وهى المقولة التى برهن الأخوان رايت على بطلانها بعد ثلاثين عاما فقط). وهكذا، حتى إذا ما عثرنا على حد أقصى لتطور الحواسيب، فهناك - ضمنيا - عدم يقين فى مدى استمرار صلاحية هذا الحد.

ولكى نستوعب دلالة هذا الحد الأقصى ستحتاج بادئ ذى بدء أن نفهم ماذا تدور حوله مهمة الحواسيب. إن الحواسيب - ببساطة - تقوم بمهمة معالجة شذرات المعلومات. وتستعمل حواسيبنا الراهنة منطق "بول" فى نقل الشذرات، وتغييرها، وفرزها (إلى أرقام الأصفار والآحاد). لقد نشر جورج بول بحثه الجبرى عام ١٨٥٤، مع نظام متكامل يتيح إجراء الحسابات المندمجة رياضيا. ولنتذكر أن شانون بنى - على هذا الأساس - عمليات الاتصالات. ويجرى الآن تطبيق منطق بول فى مجال الترانزستور، وهناك تنويعات عديدة من البدائل المقبولة منها. وكما نعلم فإن الشذرات الكلاسيكية - بحكم التعريف - توجد لدى لحظة ما، فى واحدة من حالتين : الصفر أو الواحد. وعلى أية حال، فمتاح لنا مع ميكانيكا الكم أن يكون لدينا الرقمان (الصفر والواحد) فى نفس الوقت فى منظومة فيزيائية واحدة، بل إن المتاح لنا فى الحقيقة نطاق لانهائى من الحالات مابين الصفر والواحد، والذى أطلقنا عليه مسمى الكيوبيت (الشذرة الكمومية)، وعدد الحالات التى يمكن أن يكون عليها الكيوبيت غير متناه، إذ أننا - من ناحية المبدأ - نستطيع تعديل نسبة احتمالات وقوع حالتى الصفر والواحد إلى أية درجة من الدقة نرغب فيها. وعند التأكد من وجود إما الصفر أو الواحد، فإن هذا يؤول إلى الحالة الكلاسيكية.

وبالمثل، وتمشيا مع التوجه طبقا لقانون "مور"، فإن القوانين الفيزيائية وعلى المستوى الذى يحكم سلوك دوائر الترانزستور وخواصها (القائمة على أساس تقنية أشباه الموصلات)، تنتسب بطبيعتها إلى ميكانيكا الكم لا إلى الفيزياء الكلاسيكية. ومن ثم فإن قضية ما إذا كان بالإمكان تصميم نوع مستحدث من الحاسوب على أساس قواعد فيزياء الكم ليست مسعى إجباريا، ولكنه الخطوة الطبيعية والضرورية القادمة.

ومما يثير الشغف بالمثل أن نلاحظ أن الترانزستورات - وهو بمثابة الخلايا العصبية لأى حاسوب - تعمل بالإفادة من خواص أشباه الموصلات. ويدخل تفسير عمل أشباه الموصلات بطبيعتها تماما ضمن دائرة ميكانيكا الكم، ولايمكن فهمه فى نطاق الفيزياء الكلاسيكية. هل نستخلص من هذا أن الفيزياء الكلاسيكية تعجز عن تفسير كيفية عمل الحواسيب الكلاسيكية ؟ أو هل لنا أن نقول إن الحواسيب الكلاسيكية هى - فى واقع الأمر - حواسيب كمومية؟

الحقيقة هي أن معالجة المعلومات الكلاسيكية تصلح كتقريب طيب للواقع على المقياس الماكروسكوبى (العيانى)، وأن المستوى العالى من التفصيل الذى تتيحه، يكفي أحيانًا لأغراض الحياة اليومية. وفى واقع الأمر ليس بالمستبعد ـ إذا لم نكن قد وصلنا قريبًا من الحدود الكمومية الآن ـ أن نغدو مجبرين على الشروع فى النظر إلى الحواسيب ذات الذرات المنفردة، فربما لن تكون هناك حتى نفس الدرجة من الحافز إلى السعى إلى الحواسيب الكمومية وتثبيت دعائم نظرية المعلومات الكمومية.

والحوسبة الكمومية فى الوقت الحالى مجال مثير للشغف إلى أقصى حد، وميدان رحب ومتسارع للبحث العلمي. وينخرط فى البحوث فى خواص الحوسبة القائمة على أساس الكموميات، أعداد متزايدة من الباحثين تضم أطيافا ذات خلفيات متنوعة تتراوح مابين الفيزيائيات إلى علوم الحاسوب ونظرية المعلومات، مرورا بالرياضيات والفلسفة.

وقد تم التحقق من أن قوانين الفيزياء الكلاسيكية تقودنا إلى محددات لمعالجة البيانات تختلف تماما عن الحسابات المبنية على ميكانيكا الكم لأول مرة على يد الفيزيائى الأمريكى ريتشارد فيينمان (١) وفيما بعد، عمم زميله البريطانى دافيد دويتش هذه الفكرة ـ مستقلا إلى حد ما ـ وقد تتلمذ كلاهما على الأستاذ النابه جون هويلر الذى لاقيناه فى الباب الاول. ولذا فليس مُا يدعو للدهشة ـ أن يحفزهما نفس السؤال عن الصلة الأساسية بين الفيزياء والحواسيب.

وهناك تطبيقان هما الأكثر نجاحا فى مجال الحسابات الكمومية، أولهما تحليل الأعداد الضخمة إلى عواملها الأولية والبحث فى قواعد البيانات الضخمة. وللمسألة الأولى أهميتها، حيث تقوم أغلب عمليات التشفير فى يومنا هذا، على أساس صعوبة تحليل الأعداد الأولية الضخمة (سنبحث هذا الأمر فيما بعد). أما المسألة الثانية فتنبع أهميتها من أن أية مشكلة فى الطبيعة يمكن اختزالها إلى البحث عن إجابة صحيحة ضمن إجابات متعددة خاطئة قد يبلغ عددها بضعة ملايين. والبحوث عن ذلك تنتشر فى كل مكان، وتتراوح مابين تنقيبك عن ملف ما داخل حاسوبك، إلى بحث نبات عن جزىء كى يحول طاقة الشمس إلى شغل مفيد (وسنناقش هذه المسألة بالمثل لاحقا).

إذن.. فيم ستساعدنا ميكانيكا الكم هنا ؟ ولماذا لايمكننا أداء ذلك بحواسيبنا المعتادة ؟ إن القضية تكمن فى أننا حقا نستطيع، وأننا بالفعل نستعمل حواسيبنا المألوفة لمثل هذه الأغراض، ولكن عندما يتضخم حجم العدد الأولى، أو تطول القائمة المطلوب البحث ضمنها، فإن زمن الحصول على الإجابة يطول ويمتد. وتساعد فيزيائيات الكم فى مثل هذا الصنف من المسائل، ففيزياء الكم، وخلافا للحواسيب التقليدية التى تختبر كل الاحتمالات واحداً واحداً، تسمح لنا باختبار احتمالات متعددة فى ذات الوقت.

ولنتحدث الآن عن اثنين آخرين من العاملين المرموقين فى "مختبرات بل"، هما بيترشور ولوف جروفر، ولنضفهما إلى كلود شانون الذى قابلناه سابقا. فبينما كان شانون يبحث عن أفضل الوسائل مواءمة لإرسالها عبر سلك الهاتف، كان شور فى عام ١٩٩٢ يبحث ـ فى تفصيل أكثر ـ عن تأمين سرّية هذه الرسائل .

ولتأمين السرية أهميته فى كثير من مناحى الحياة. فكما أنك ترغب فى ضمان سرية بطاقة ائتمانك لتأمين شرائك لسلعة ما، كذلك ترغب الحكومات والشركات فى الحفاظ على مستنداتها مصونة غير عرضة لأن يطلّع عليها الجمهور أو الحكومات أو الشركات الأخرى. ومثلما ناقشنا فى الباب الثامن، تقوم السرية فى العالم الحديث على مفهوم تأمين الشيء عن طريق الحوسبة، أى أنه مؤمن بحيث يقتضي اختراق الشفرة الخاصة به وقتا وقدرة تفوقان الخيال. فمن اليسر ـ مثلا ـ أن تجرى عملية ضرب حسابية لعددين على الحاسوب ولكن إذا احتوى كل من العددين على مائة رقم (مثل واحد وعلى يمينه مائة صفر) وطلبت من الحاسوب إجراء عملية الضرب، فسيقوم بها فى جزء من الثانية ـ جرب ذلك بنفسك ـ بل إنك حتى لاتحس بأنه استغرق وقتا على الإطلاق.

وعلى الجانب الآخر، فإيجاد عوامل تحليل رقم ضخم بالغة الصعوبة، وذلك لأن هناك ببساطة إمكانيات عديدة ينبغي اكتشافها. ولتضرب مثلا بالعدد ١٠٠، ما عوامل تحليله؟

إن ٥٠×٢ = ١٠٠، وكذلك ٢٥×٤ = ١٠٠ وبالمثل ٥×٢٠ أو ١٠×١٠. وسرعان ما يتزايد عدد العوامل بازدياد العدد، بحيث يمثل حصرها صعوبة بالغة لأى حاسوب تقليدى الآن (ويرجع ذلك فى المقام الأول إلى تناقص سرعة الحاسوب أسيًا لدى ضرب الأعداد).

فكيف يستطيع الحاسوب الكمومى تحديد عوامل التحليل هذه بكفاءة ؟ لقد فسر "شور" ذلك لأول مرة، ومن ثم سمىّ التفسير "بخوارزم شور"، وهو يتلخص فى أن الحاسوب الكمومى ـ بتطبيقه لقاعدة التراكب الكمومية يمكنه الوجود فى عدة حالات فى ذات الوقت. فتخيل حاسوبا مفردا فى تراكب ويستطيع الوجود فى عدة مواضع مختلفة من الفضاء فى نفس الوقت. وفى كل موضع منها يمكنك أن تسأل آلتك قسمة العدد على عدة أرقام مختلفة بحثا عن المعامل، وهى زيادة فى السرعة خارقة، حيث أن حاسوبا كموميا واحدا يقوم فى ذات الوقت بأداء كل عمليات القسمة كل واحد منها فى موضع مكانى مختلف وإذا مانجح أحدها، فإننا نحصل على العوامل المطلوبة.

ألم تتعجب أبدا كيف يظل رقم بطاقتك الشخصى مؤمنا فى كل مرة تسحب فيها نقودا من جهاز الصرف الآلى ؟ كيف يتأتى أنه لا أحد من موظفي المصرف أو مديريه يصل إلى هذا الرقم ؟ وكيف لايحصلون عليه فى كل مرة تدخله فى الجهاز ثم يسطون على أموالك؟

السبب هو أن جهاز الصرف الآلى يقوم بالعمليات التالية : عند إدخال رقمك الشخصى بغرض سحب نقود فإن هذا الرقم (وعادة مايكون مكونا من أربعة أو ستة رموز) يضرب فى عدد هائل الضخامة (مكون من ٥٠٠ رمز مثلا). والعدد الناتج والمكون من ٥٠٤ أرقام يراجع من قبل المصرف، فإذا ما عثر عليه فى قاعدة البيانات، سمح لك بالاستمرار فى إجراء عمليتك المالية، وهنا مربط الفرس فإذا لم يتمكن المصرف من التعرف على رقمك الشخصى من بين العدد المحتوى على ٥٠٤ رقما فى قاعدة البيانات، فسيحتاج الأمر منه إلى وقت طويل (أطول من عمر الكون بما فيه من الحواسيب الحالية).

وحجر الزاوية في كل هذا هو أننا باستعمال الحاسوب الكمومي نستطيع تحليل الأعداد إلى عواملها بسرعة عالية. فإذا كان لدينا حاسوب كمومي به ١٠٠٠٠ شذرة كمومية، فيمكننا تحليل عدد محتوٍ على ٥٠٠ خانة أرقام في غضون ثوان قليلة ومن شأن هذا أن يضع نهاية لمعظم عمليات تأمين الحالية.

ومن ناحية أخرى كان لوف جروفر lov grover في ١٩٩٦ معنيا بمشكلة أخرى تماما. كان جروفر يريد أن يعرف كيف يصمم خوارزما ذا كفاءة باستخدام إجراء العمليات على التوازي الذي يقدمه الحاسوب الكمومي. ويمكن شرح فكرته من خلال المثال التالي: هب أن أحداً قد أتاح لك دخول مكتبة تحتوي على تلال من الكتب غير المصنفة. فإذا ما أردت العثور على كتاب بعينه فعليك - ببساطة -البحث بين كل الكتب حتى تجد بغيتك. فلو أن أمامك مليون كتاب، واستغرق فحصك لكل كتاب ثانية واحدة، فسيلزمك وقت طويل حقا (المليون ثانية تعادل حوالي الأسبوعين). أما الحاسوب الكمومي فمن شأنه أن يختصر الوقت اللازم إلى ألف ثانية بدلا من المليون أي ما يناظر الساعتين تقريبا، وهو ما تمكن جروف من إثباته.

وبقائمة تحتوي على أربعة بدائل (شذرتان من المعلومات مرقومتان ١١،١٠،١،٠٠، بوسعنا عادة أن نحتاج - كحد أقصى - إلى البحث ثلاث مرات للعثور على الكتاب المطلوب، وبذلك عليك أن تنظر إلى كل من هذه العناصر، وإذا صادفك سوء حظ، فلن تعثر في العناصر الثلاثة الأول على ما تبحث عنه. أما البحث الكمومي، فعلى العكس من ذلك يمكنه البحث في قاعدة بيانات كمومية ذات أربعة عناصر في خطوة واحدة. وبزيادة حجم قاعدة البيانات تزداد الميزة في البحث الكمومي.

والبحث في قاعدة بيانات من أربعة عناصر للعثور على ما تريد يناظر إلقاء قطعتي نقود ورصد نتيجة كل منهما. فإلقاء القطعة الأولى يناظر السؤال أي نصفي قاعدة البيانات يحتوي على العنصر المطلوب (أي هل هو النصف العلوي أم النصف السفلي). وإلقاء القطعة الثانية سيهديك إلى العنصر المطلوب بالضبط (أي، من بين العنصرين

الباقيين، هل هو أحدهما أم الأخر). والخلاصة التى لا مناص منها هى أنك فى الفيزياء التقليدية (وبالتالي فى الحوسبة التقليدية) تحتاج على أقل تقدير إلى رميتين لقطعة نقود أو خطوتين كى تميز تمييزًا حاسمًا بين أربعة نتائج.

ويوسعنا–على أية حال– باستخدام الحواسيب الكمومية إنجاز هذا بنصف ذلك المجهود فى خطوة واحدة فحسب. وتماثل هذه الحوسبة الكمومية مثال الفوتون المفرد المار خلال مفرقى أشعة، حيث لدينا احتمالات مختلفة (انعكاس فانعكاس، نفاذ فانعكاس، انعكاس فنفاذ ونفاذ فنفاذ)، بينما احتجنا إلى فوتون واحد لتوليد نتيجة مفردة حاسمة. وخاصية التراكب الكمومية تتيح لفوتون مفرد أن يغطى الاحتمالات المختلفة الأربعة آنيا، وفى نهاية المطاف ومن خلال التداخل بين المسارات المختلفة، سيدمجها فى نتيجة مفردة حاسمة (أى العنصر الذى نبحث عنه). وبالإمكان تعميم هذا المنطق، بحيث يمكن تصميم الحاسوب الكمومى كى يمسح أى عدد من عناصر قاعدة البيانات بأسرع كثيرًا من الحاسوب التقليدى.

ومشكلة البحث – حقيقة – واحدة من المشاكل التى تسمح فيها الحواسيب الكمومية بسرعة عالية وهو يماثل أهمية خاصة، بالنظر إلى أن أية مشكلة تقريبًا يمكن صياغتها بدلالة خوارزم بحث. فعلى سبيل المثال، حتى إذا أخذنا مسألة التحليل إلى عوامل، يمكننا صياغتها ثانية بدلالة خوارزم بحث، بمعنى أننا نبحث فى كل العوامل الممكنة التى قد توصلنا إلى الإجابة المطلوبة. وربما يكون هناك فى هذه الحالة أكثر من إجابة، ولكن المشكلة – من ناحية المفهوم – هى نفسها. ومثال التحليل إلى عوامل هو بالمثل مثال جيد، إذا ثبت أن كفاءة خوارزم البحث فى هذه الحالة أدنى من كفاءة خوارزم شور (وهو الأمر المتوقع). وخوارزم البحث هو خوارزم عام، صالح للتطبيق فى أية مشكلة بحث، فى حين أن خوارزم شور للتحليل إلى عوامل، يفضل تحديدًا لهذه العملية، وهو يؤديها باستعمال خصائص أصيلة به مرتبطة بطبيعة الحالة. ومن هنا، ولكى نضع الأمور فى نصابها الصحيح، ففى حين أن الحوسبة الكمومية تقدم بالفعل

نموذج حوسبة ذا قدرة تتجاوز بمراحل قدرة الحوسبة التقليدية، إلا أن ذلك لا يمنع وجود مسائل تقليدية ما يزال الخوارزم التقليدى أعلى كفاءة فى حلها من خوارزم البحث الكمومى العام.

وما يحد من استعمال الحوسبة الكمومية فى حل المسائل التقليدية أساسًا هو أن علينا- فى المآل الأخير أن نقوم بقياسات كى نستخلص الإجابة، نظرًا لأن السؤال المطروح يستلزم إجابة شافية. وفى حين أن القياس ضرورى، إلا أنه - فى جوهره - عملية تخضع للاحتمالات، ودائما مايكون هناك نسبة من احتمال الحصول على إجابة خاطئة. وفى بعض الحالات، كما فى خوارزم شور يمكننا التحقق مباشرة وبطريقة تقليدية من صحة الإجابة، وإذا لم تكن كذلك، نشغل الحاسوب الكمومى ثانية حتى نظفر بالمطلوب، وعن الحواسيب الأخرى يلزمنا العثور على حلول مبتكرة أخرى. وليس على القارئ أن يشغل باله بهذه المحدودية، فهى ليست بالعقبة الخطيرة عمليًا مع الحواسيب الكمومية، وإنما تكمن عدم كفاءتها فى تأثرها بالاضطرابات البيئية التى تتعذر عمليًا السيطرة عليها . فلكى تعمل الحواسيب الكمومية بكفاءة أعلى من نظيرتها التقليدية ينبغي أن تكون قادرة على التعامل مع هاتين النقطتين .. القياسات والتأثر بالبيئة.

وبالإضافة إلى التحليل للعوامل، وخوارزمات البحث الكمومية، هناك حشد من المسائل التخصصية التى بمقدور الحواسيب الكمومية معالجتها بأفضل من نظائرها التقليدية بمراحل. ولعل أكثر التطبيقات جاذبية للحاسب الكمومى تكمن فى محاكاة المنظومات الفيزيائية المركبة، فبعض هذه المنظمات بالغ فى تعقده، كجو الأرض -على سبيل المثال، بحيث يصعب لأقصى حد محاكاتها باستخدام الحواسيب المعتادة، إذ يستغرق ذلك زمنا طويلا. وإحقاقا للحق، فحتى محاكاة أبسط المنظومات، مثل منظومة فيزيائية ذات ٢٠ ذرة تمثل صعوبة هائلة للحاسوب التقليدى، مع أهمية عمل مثل هذه المشاكل اليوم على حواسيبنا المعتادة، وإذ نعجز عن محاكاتها فى مجموعها ، نكتفي بمحاكاة القليل من الملامح الجوهرية لها ، بغرض التوصل لإجابة فى بحر فترة زمنية مناسبة. فكلنا تواق إلى تنبؤ

افضل بحالة الطقس ليس يوما بيوم، ولكن لفترات مديدة. ولا تقتصر أهمية التنبؤ الدقيق بحالة الطقس على مجرد تحسين ظروف معيشتنا اليوم فحسب، ولكنه أمر جوهرى لمعرفة مستقبل الأرض. وبناء على ذلك نحتاج احتياجا ماسا إلى فهم أفضل لتطور نماذج الطقس المختلفة.

ومازالت محاكاة المنظومات الأخرى بالحواسيب الكمومية فى طور طفولتها. وتتركز الآن فى مسح تلك الأصقاع التى لم توضع لها الخرائط بعد والتى لانعرف لها أى حدود أو تخوم. وأعتقد - بصفة شخصية - فى انطلاق البحث فى هذا المجال مستقبلا، وإن كان يصعب فى الوقت الراهن الإلمام التام بثقله الحقيقى.

ومما يثير شغف المهندسين وعلماء الحاسوب كل هذا الشذوذ فى عالم الكموم. فبعيداً عن اعتباره عائقا، بالوسع استغلاله لأهداف تقنية فى بناء حواسيب كمومية تستخدم هذا الشذوذ كأساس لتشغيل أسرع مما يقوى عليه أى حاسوب حالى. فلنفكر فى الحوسبة كعملية تعظم من المعلومات المتبادلة بين المخرجات والمدخلات، أى الأسئلة المطروحة، ولنفكر فى سرعة الحاسوب لرفع وتيرة تداول المعلومات، أى معدل بناء الروابط بين المخرجات والمدخلات، ناهيك عن حقيقة أن الشذرات الكمومية (الكيوبات) تتيح درجة أعلى من المعلومات المتبادلة مما تتيحه الشذرات، حيث إنها تترجم رأساً فى صورة سرعة كمومية أعلى نلمسها فى خوارزمات شور وجروفر.

وترينا الأنباء الطيبة عن نجاح التجارب التى أجريت بالفعل على الحواسيب الكمومية على مقياس مصغر، ورغم أنها تعمل على أسس محدودة للغاية، فهذه الحواسيب الكمومية أثبتت قدرتها على تحقيق درجة من رفع السرعة تخطت كل إمكانيات الحواسيب المعتادة.

ومع الاستعاضة بالحواسيب الكمومية، يمكن تشفير الكيوبات فى ذرات، أو جسيمات تحت ذرية، أو حشد من ذرات عديدة ،وفى الضوء أو فى أى توليفة مما سبق. وعلى أية حال فلا شيء من هذه فى الوقت الراهن يتيح وسطا ملائما لتخزين ١٠٠٠ شذرة كمومية مثلا فى حالة تراكبية، أى بطول كاف يساعد فى إجراء الحسابات الأكثر تعقيداً.

كم تبعد بنا الشقة يا ترى عن الحواسيب الكمومية كاملة النمو؟ وأعني بذلك هل نحن بعيدون عن إنتاج حاسوب واحد قادر على ضم آلاف الملايين من الكيوبيتات فى هيئة تراكبية؟ والإجابة فى إيجاز: أجل... ما زلنا بعيدين، فالرقم القياسى الراهن – وهو يعتمد على منظورك أنت – يتراوح مابين ١٠،١٥ كيوبيت. على أية حال فهناك العديد من الطرق لتشفير المعلومات بميكانيكا الكم لأن هناك ببساطة العديد من المنظومات المختلفة التى بمقدورنا استعمالها لتكوين المعلومات الكمومية، كأيون في مصيدة أيونات، وفوتونات فى فجوة أيونات أو فوتونات حرة أو دوران النوى فى الرنين المغناطيسى النووى، أو دوران الإلكترون فى الرنين الكهرو–بارامغناطيسى إلى جانب كل حشد من أجهزة دراسة فيزيائيات المادة فى الحالة الصلبة مثل الموصلات الفائقة، علما بأننا لا ينقصنا المرشحون المهيئون لتنفيذ كل ذلك.

ولدى الفيزيائيين التجريبيين اليوم تحكم شبه كامل في الذرات، فبوسعهم تصميم كل أنواع التجارب، مثل عزل ذرة مفردة داخل مصيدة بالغة الصغر (تبلغ أبعادها جزءا من مليون جزء من المتر). كيف يتأتى لهم معرفة أن الذرة قابعة هناك؟ إنهم يعرفون لأن بإمكانهم تسليط بعض من أشعة الليزر داخل حيز ضئيل، فاذا ما انعكس ضوء الليزر على الداخل، أتاح لهم ذلك مشاهدة تلكم الذرة.

إذن ماذا تجدينا ١٠ أو ١٥ كيوبيتا ؟ ليس كثيراً مما تعجز حواسيبنا الراهنة عن أدائه. نحن نستطيع ضرب رقم ٣ فى رقم ٥ لنحصل على ١٥ ـ وهذه مجرد بداية فكل شخص يستطيع ذلك ـ وإنما المغزى من مثل هذه النوعية من التجارب التحقق من إمكانية أدائها على مستوى الكموم، وهو ميدان مستحدث حقا. ويلزم للحواسيب التقليدية اليوم نحو ١٠٠٠٠ ذرة لإجراء عملية ضرب ٣×٥ . أما الحواسيب الكمومية فأعلى كفاءة فى هذا الشأن. ويا للأسف، فما من تقنية كمومية حالية تعرف كيف تحسب بأى شىء أكثر من ١٥ كيوبيتا!

وسؤالنا هو : فيم صعوبة تعظيم أحجام الحواسيب الكمومية؟ الإجابة على هذا السؤال هى نفس إجابة السؤال الذى طرحناه فى الباب الثامن، لماذا لانشاهد التأثيرات الكمومية على المستوى العيانى ؟ والصعوبة - مع التبسيط - فى أننا نحتاج منظومات ضخمة يمكنها اتخاذ حالات مختلفة عديدة فى ذات الوقت كى تصور لنا السلوك الكمومى. ولكن كلما تضخمت المنظومة، كلما ازدادت الطرق التى تسمح بتسرب المعلومات الخاصة عن الحالة، إلى البيئة المحيطة. وما أن تتسرب معلومة ما، حتى تفسد التراكيبات، وتتلف معها الحواسيب الكمومية. ويمكننا اعتبار عملية تسرب المعلومات للخارج كالقيام بقياس لتجميع المعلومات عن حالة المنظومة، شأنها شأن البيئة المحيطة (ويقصد بالبيئة ماهو خارج المنظومة).

وكما عرفنا إبان مناقشتنا لعلم التشفير وفك الشفرات، فإن هذا يؤدى حتما إلى تلف الحالة الكمومية مدار البحث. وتعرف هذه العملية بالمصطلح التقنى باسم الانفكاك، ومن ثم يتعذر أساسا تشييد حواسيب كمومية كبيرة الحجم لنفس العلة التى تمنع رؤية الناس فى أكثر من مكان فى ذات الوقت (إلا بعد تناولك بعضا من الكئوس المسكرة).

وثمة محاكاة مثيرة هنا مع الجريمة. فالإحصاءات تشير إلى أن أكثر اللصوص نجاحا أولئك الذين يعملون بأنفسهم (والنساء يقمن بهذا بنسبة أكثر من الرجال ومن ثم فهن أكثر إحرازا للنجاح فى ميدان اللصوصية) والسر فى ذلك هو أنه كلما زاد عدد الأفراد فى عصابتك، كلما ازدادت فرص خيانة أحدهم لك، لأى سبب كان. ومن البديهى أنه زاد عدد الأناس ممن لديهم نفس المعلومات، كلما ارتفعت احتمالات تسربها. حسنا.. بوسعك أن تفكر فى تطبيق نفس القاعدة بالضبط على الذرات فكلما زاد عدد الذرت فى تراكب ما، كلما ازدادات الصعوبة فى منع إحداها من الانفكاك والانطلاق إلى البيئة.

يلوح ذلك بمثابة الأخبار السيئة فيما يختص بالحواسيب الكمومية. هل سيغدو محالا ياترى بناء حواسيب كمومية كبيرة الحجم يمكن الوثوق بها ؟ والإجابة - لحسن الحظ - كلا. فخلافا " للجريمة الكاملة " بوسعنا الحصول بالفعل على حواسيب كمومية

مثالية، فكيف ذلك ؟ إن الحيلة فى تحقيق ذلك هى ذاتها التى تتبعها الدنا لإجراء استنساخ متقن، أو على أقل تقدير لنشر الحياة. فالحل يأتي من "الفائض" .

فإذا ماكنت تبغي أن يحتوى حاسوبك على مائة شذرة كمومية نافعة، فعليك بتصميم حاسوب كمومى ضخم بسعة ١٠٠٠ كيوبيت، ويعني هذا أن عليك - لكل كيوبيت واحد - أن تضيف تسع نسخ أخرى من نفس الكيوبيت. فإذا ماتصادف وانفك هذا الكيوبيت عرضا، فسيكون مازال بإمكانك أن تعول بحكم الأغلبية على التسعة الباقين. وبذلك يمكن صيانة التراكب الكمومى. ومع وجود سبل أخرى أكثر مواءمة لإضافة المزيد من الفائض، فإن هذا - فى جوهره - هو المفهوم المحورى.

وأنا أدون هذه السطور - ونحن فى صيف عام ٢٠٠٨ - أرى أننا قد يممنا بالفعل شطر إنتاج الرقائق الميكرونية اللازمة للحوسبة الكمومية، وهو مايجرى الآن ها هنا فى سنغافورة (أقول هذا فى مجلسى أحتسى قدحًا مزدوجا من القهوة جاهزة التحضير فى مقهى" سبينيلى بحرم الجامعة الوطنية).

ويعكف الفيزيائيون ممن يقومون بالتجارب، على مكاملة المكونات المحتوية على الذرات فائقة البرودة والفوتونات المتلاحمة فى أعداد صغيرة، وتركيبها فوق هذه الرقائق. ولقد تقدمت الهندسة الميكرونية كثيرا خلال العشرين عاما الأخيرة، ومما يبهرك أن ترى كم من المواد يمكن تكديسها فوق مساحة ضئيلة جدا من سطح الشريحة. ولعل إنتاج وحدة حوسبة كمومية متكاملة يستغرق لإتمامه من ٥ إلى ١٠ سنوات، إلا أن البحوث فى هذا المضمار قد تجلت ألمعيتها بحيث باتت إمكانية إنتاج حواسيب كمومية أملا قريب المنال.

أما فيما يختص بالكائنات الحية فإن المعركة لبناء حاسوب كمومى - فى نهاية الأمر - معركة ضد الإنتروبيا، فكلما انخفضت الإنتروبيا الإجمالية فى منظومة فيزيائية عشوائية كلما ازدادت فرص تشابك ذرات مكوناتها. والذرات النافعة نمطيا للحوسبة الكمومية تحتاج فى العادة أن توجد فى درجة حرارة تقرب من الصفر المطلق (على بعد واحد من البليون من درجة الصفر المطلق) وعلاوة على ذلك، ونظرًا لأن درجة

الحرارة فى بقية المختبر أعلى من ذلك بحوالى ٢٠٠ بليون مرة، فالمعركة مستديمة. وهى نوع من سيناريو (شبح ماكسويل)، حيث تحتاج العملية إلى تخفيض إنتروبيا المنظومة بهدف تنفيذ بعض عمليات معالجة المعلومات المفيدة.

ويجابهنا برهان دامغ على التأثيرات الكمومية يمكن رؤيته فى بعض الجسيمات المجهرية، وهو برهان قدمه سيانتانى جوش وزملاؤه عام ٢٠٠٢، فقد بين جوش أن التراكب الكمومى بين ذرات عديدة يوجد فى قطعة من الملح تحوى البلايين من الذرات فى درجة حرارة تبلغ بضعة أجزاء من الألف من الدرجة الواحدة على مقياس كلفن. لقد كان ذلك مروعًا، إذ بين أن الظواهر الكمومية التى كان يعتقد أن سلطانها مقصور على عالم الجسيمات الضئيلة تحت الذرية، قد تفرز تأثيرات يمكن قياسها على المستوى العيانى (الماكروسكوبى) .

مثل هذا الاكتشاف غرابة هائلة، حتى تعذر على أحد تصديقه. وفى بحث قدمته عام ٢٠٠٠ لمجلة "ناتشر Nature رائدة المجلات العلمية، قمت بتنبؤ مشابه - وسرعان ما استبعده المحكمون المسئولون ضاحكين. والتنبؤ الذى أكدته تجربة جوش يقذف بلغز المعلومات الكمومية إلى حلبة أرحب بحق. وقد أرسلت" ناتشر لى - مشكورة - بحث جوش على اعتبار أني سأغتبط حين أعرف أن أحد تنبؤاتى ثبتت صحته (وهذا مالايحدث كثيرًا). والأفضل من ذلك أن عددا من النتائج الأخرى التالية لنتائج جوش، قد أسفرت عن تأثيرات مشابهة فى مواد أخرى، وكان بعضها فى درجات حرارة أعلى بل وياللعجب حتى فى درجة حرارة الغرفة. ونحن الآن نتحقق من أن التأثيرات الكمومية فى البحوث المتقدمة هى أوسع انتشارا فى المنظومات العيانية عن ذي قبل ويمنحنا ذلك الأمل فى أن نجد ذات يوم أن الطبيعة قد زودتنا بحاسوب كمومى وأن كل ماعلينا أن نفعله هو أن نبرمجه. وفى نهاية الأمر فقد اخترعت الطبيعة بالفعل - قبلنا نحن - كثيرا من الحيل. والرادار وتصحيح الخطأ بالفائض هما مثالان على مثل هذه الألاعيب التى تستخدمها الكائنات الحية. ولعل ذلك السبب فى وجود كائن حى بمكان مايسخر ميزة السرعة العالية للحوسبة الكمومية. بل والأفضل من ذلك لعل الحوسبة الكمومية تصبح من الشمول بحيث تحل محل كل خلية حية.

ويزداد توافر الدليل على أن المزيد والمزيد من العمليات الطبيعية لابد وأن تكون مبنية على القواعد الكمومية كى تؤدى وظيفتها كما تؤديها. فلنتدارس عملية التمثيل الضوئى - مثلا - وهى واحدة من العمليات الطبيعية الجوهرية فى الحفاظ على الحياة على كوكب الأرض.

فليستحضر القارئ من الباب الخامس ماذكرنا من أن كل الكائنات ذات الحياة تشبه آلة حرارية - مثل شبح ماكسويل الذى تتبلور مهمته المحورية فى أن ينافح النزوع الطبيعى نحو زيادة الشواش - والحياة تقوم بذلك بامتصاصها طاقة عالية الشواش تأتى من الشمس، فتحولها إلى صورة أكثر اتساعًا ونفعًا.

والتمثيل الضوئى هو اسم الآلية التى يمتص النبات بموجبها هذه الطاقة الضوئية من الشمس ويختزنها ثم يستعملها. وتتحول هذه الطاقة إلى صورة متناسقة وتستخدمها الخلية فى أداء وظائفها. والتجارب الشائقة الحديثة التى أجراها جراهام فليمنج ومعاونوه فى جامعة بيركلي بكاليفورنيا تتطرق إلى أن للتأثيرات الكمومية دورها فى عملية التمثيل الضوئى، بل والأكثر من ذلك، تومئ إلى علاقة انتقال الطاقة فى التمثيل الضوئى وبين خوارزم جروفر الأمثل للبحث الكمومى، وبعبارة أخرى أن النباتات أعلى كثيرا فى كفاءتها مما كنا نتوقع وربما كان هناك تحت السطح معالجة المعلومات الكمومية تسهم فى عملياتها. وتبلغ كفاءة عمليات النباتات الحيوية نسبة مذهلة، فنحو ٩٨٪ من الإشعاع الساقط على ورقة النبات يتم تخزينه بكفاءة. وعلى الجانب الآخر لاتتعدى كفاءة أفضل الخلايا الضوئية التى صنعها الإنسان، ٢٠٪ كيف ياترى يتأتى للنبات أن يصنع ذلك الفارق الرهيب؟

لم تتضح لنا بعد الإجابة الشافية، بيد أن الصورة العامة هى أن أشعة الشمس عندما تسقط على سطح غير مهيأ لامتصاصها وتخزينها بعناية، فإن الطاقة عادة ماتتسرب فى صورة حرارة عبر الأسطح أو أنها تنعكس، وفى الحالين فإنها تفقد (إذا نظر إليها كمصدر نافع لشغل ميكانيكى فيما بعد). وتتسرب الطاقة عبر السطح لأن كل

ذرة فيه تعمل مستقلة عن الأخريات.. وعندما يمتص الإشعاع بهذا الأسلوب الذى لا ترابط فيه تتلاشى كل خواصه النافعة. لذا فهناك حاجة إلى أن تعمل ذرات السطح وجزيئاته فى تناغم، وهو الإنجاز الإعجازى الذى تنجح فيه كل النباتات الخضراء.

ولكى نستوعب كيف يحدث ذلك، فلتفكر فى كل جزىء فى النبات كعنصر من قاعدة بيانات فى خوارزم جورفر الباحث. فكل الجزيئات تتذبذب مع تبادلها التأثير مع بعضها البعض، وعندما يسقط عليها الضوء فإنها تغير تذبذبها وحراكها، وما يلي ذلك ينفذ ديناميكيات جروفر بحيث ينتهى الأمر والطاقة فى أفضل هيأتها استقرارا (وهذه الهيئة المستقرة هى عنصر قاعدة البيانات الذى يعنى خوارزم جروفر بالتعرف عليه).

والمجمع عليه أن تجارب فليمنج قد أجريت فى درجة حرارة منخفضة (٧٧ درجة على مقياس كلفن، فى حين تقوم النباتات بالتمثيل الضوئى عادة فى درجة ٣٠٠ كلفن). لذا لا يتضح بصورة كاملة ما إذا كانت أية تأثيرات كمومية تبقى على فاعليتها فى درجات الحرارة الأعلى. ومهما يكن الأمر، فحقيقة أن هناك إمكانية حقة فى أن الكائنات الحية قد حققت الحوسبة الكمومية بالغة الإثارة ومن ثم فقد صار ذلك ميدانا لأبحاث متزايدة.

بل إن الأمور أجل من ذلك. فالاقتراح الأعظم جاذبية مما عداه هو أن نظرية الكموم قد تكون جد ضرورية فى أسس الحياة ذاتها. ولتذكر ماقلته فى الباب الرابع من أن المعلومات تشفر - لاستنساخ الحياة - فى أربعة رموز مختلفة هى مجرد جزيئات يرمز لها بالاحرف A-C-T-G فإذا اعتبرنا ذلك بمثابة قاعدة بيانات مصغرة تحوي أربعة سجلات، فوظيفة حاسوب استنساخ الدنا هو أن يمسح أى خيط دنا عشوائى ويؤلف بين الجزيئات من قاعدة البيانات. ومنطق قاعدة البيانات هو أن الجزىء A دائما يتآلف مع T والجزئ C مع G ويحاكي هذا عملية الاستنساخ فى خلايانا، حيث يعثر كل جزىء فى أحد خيوط الدنا على صاحبه فى الخيط الجديد. وعلى هذا النحو يمكننا اعتبار استنساخ الدنا مماثلا لمشكلة البحث فى قاعدة البيانات عن أربعة عناصر.

وقد تساءل فيزيائى هندى يدعى أرفند فى أواخر عقد التسعينيات لماذا تستخدم الطبيعة شذرتين (أى أربعة جزيئات) لتشفير الحياة ! ألم يكن من الأيسر استخدام شذرة واحدة (أى جزيئين فقط) ؟ لقد كان هذا - إن كنت تذكر - أحد أسئلتنا الرئيسية بالباب الرابع.

ويتراءى استخدام شذرة واحدة أمرا بديهيا وأكثر بساطة، فلماذا تحمل الطبيعة نفسها عبئا زائدا ؟ أو لم يكن الأيسر على الطبيعة - وهى تبدأ من الصفر - أن تقع على نظام تشفير قائم على شذرة مفردة بدلا من التشفير بشذرتين ؟ والإجابة على تساؤل "آرفند" جد بسيطة. لعل الأيسر اللجوء لشذرات فرادى، غير أن هناك ميزة كمومية أعظم فى البحث عندما يكون هناك شذرتان كموميتان. فمع وجود شذرتين كموميتين يعثر خوارزم جروفر الكمومي للبحث، على الحل عبر خطوة واحدة فحسب.

فإذا ما اتخذت سرعة عملية الاستنساخ قيمتها المثلى أتاح وجود اثنتين من الشذرات الكمومية كفاءة أعلى لعملية معالجة المعلومات من شذرة تقليدية مفردة فى نفس العدد من الخطوات. فلعل هذا كان الأسلوب الذى فكرت به الطبيعة.

وتساؤل أرفند يدل على الفطنة حقا، بيد أنه ها هنا قضية محورية : هل يمكن للدنا بالفعل أن يكون حاسوبا كموميا ؟ إن الدنا جزىء عيانى، وليس من الواضح كيف يتأتى أن تكون هذه هى الحالة وكيف يمكن للجزيئات أن تتواجد فى حالات مختلفة متعددة آنيا. ومما تجدر ملاحظته، أننا نعرف على نحو يقينى ما إذا كان الدنا مبينا على أساس الحسابات التقليدية أم الكمومية. وأنا أقول مما تجدر ملاحظته لأن الدنا قد تمت دراسته باستفاضة عبر الستين سنة الأخيرة، ومن ثم يجدر بنا التحلى بالصبر وترك التساؤل - إلى حين - مفتوحا.

والصورة التى يلوح أنها تتكون هى لمنظومات أكبر وأكبر قد تكون أكثر قدرة على عرض التأثيرات الكمومية تحت ظروف بعينها. وعلى سبيل المثال لسنا متأكدين ما إذا كان بإمكاننا تعميم ذلك وكيف.

ربما - إذا عرفنا كيف ننظر إلى التأثيرات الكمومية بطريقة صحيحة، أمكن أن تتراءى لنا في كل شيء. فهل نجد يوما أن أي كيان مركب من المادة أو الطاقة يمكننا - مستقبلا - وتحت ظروف خارجية مواتية أن نستعمله كحاسوب كمومي ؟ وإذا خطونا للأمام خطوة أخرى وقارنا هذا ببحث تشيرش - تورينج عن الآلة الحاسبة الشاملة، فالذي يمكن أن يتطلبه هذا هو أن أي قطعة في الكون بوسعها أن تحاكي - بدرجة أو بأخرى من الكفاءة - أية قطعة أخرى به. ولعل الواقع ذاته يمكن النظر إليه كنتاج لحوسبة كمومية معقدة متعددة الخطوات. وهي بالطبع شطحة هائلة من الأمل، ولكنها ستكون جوهر مناقشاتنا في الباب الثاني عشر.

النقاط الجوهرية الفصل التاسع :

- تحقق الحواسيب الكمومية درجة أعلى من الانتظام فى معالجة المعلومات بأكثر مما نستطيع تحقيقه حاليا، فهى أصغر وأسرع الأدوات التى تسمح قوانين الفيزياء فى الوقت الراهن بتركيبها.

- بمقدور الحواسيب الكمومية حل بعض المشاكل التى تستعصي على حواسيبنا التقليدية والمثالان البارزان على ذلك تحليل الأعداد الأولية الضخمة لعواملها، والبحث مابين ملايين البدائل عن بديل واحد صحيح. ويستخدم الأول فى أساليب تأمين السرية المختلفة والثاني فى تقنيات الوصول إلى الوضع الأمثل.

- ليست الحواسيب الكمومية بالأمر البعيد المنال، بل يجري تصميمها وبناؤها فى الوقت الراهن فى العديد من المختبرات فى أنحاء العالم.

- ترصد التأثيرات الكمومية تجريبيا على الجسيمات العيانية مثل القطع الصلبة من المواد وعلى الجزيئات العضوية بالكائنات الحية.

(١٠)

هل نحن أبناء الصدفة العمياء

العشوائية في مواجهة الحتمية

في بحثنا عن ذلك القانون المتناهي الشمولية P، الذى يتيح لنا أن نشفّر الواقع بمجمله، صادفتنا عقبة جدّ أساسية. فكما طرح دويتش، محال أن يتضمن القانون P كل شيء، وذلك لأنه ببساطة ليس بمقدروه أن يفسر أصله هو ذاته. فنحن في حاجة إلى قانون أكثر في أساسيته من P.. قانون يمكن اشتقاق القانون P منه. ولكن هذا القانون الأساسي الأخير لابد وأن يكون بدوره آتيا من مكان ما. ويذكرنا هذا بالقصة المجازية عن الرسام نزيل مستشفى الأمراض العقلية الذى يحاول أن يرسم لوحة الحديقة التى يجلس فيها، ولكنه يعجز عن العثور على وسيلة لتضمين نفسه في اللوحة، وينتهي به الأمر إلى الدخول في دوامة من التسلسل اللا نهائي.

هل يعني ذلك استحالة فهمنا مجمل الواقع ؟ ربما كان الأمر كذلك، حيث إن أى افتراض سنبدأ بالتسليم به، يحتاج لما يفسره هو نفسه، وأى قانون يدعم رؤيتنا للواقع يحتاج - في المآل الأخير - إلى قانون سابق له. ويضعنا هذا نوعا ما في موقف على شاكلة (أمسك ٢٢ Catch 22)[١] إذن هل نسلم بالإخفاق الكامل إزاء ذلك أم أن هناك

(١) Catch 22 : يقصد به موقف متناقض لا يستطيع المرء فيه تجنب مشكلة ما نتيجة قيود أو قواعد متعارضة والاسم أمسك ٢٢ عنوان لقصة هزلية تاريخية ألفها الكاتب جوزيف هيلر ونشرت في ١٩٦١ . (المترجم)

مخرجا ؟ هل هناك مرحلة أساسية ليس لأحداثها علل سابقة لها بحيث نكسر حلقة هذا التسلسل اللانهائى ؟

ما الذى يعنيه وجود حدث بدون علة مسبقة ؟ إنه يعني أننا لا نستطيع - حتى مع كل معارفنا السابقة - أن نستدل على أن هذا الحدث سيقع مستقبلاً. وبالإضافة إلى ذلك، لو أن هناك أحداثا لم تترك لها توابع أصيلة فى الكون فمن شأن هذا أن يقتضى وجود عنصر عشوائى أساسى فى الواقع يستحيل اختزاله إلى أى شىء حتمى.

وهذه القضية محل جدال حامي الوطيس، يدخل ضمن أطرافه الدين، والعلم والفلسفة وتتنازعها مجموعات متناقضة من وجهات النظر لكل منها أنصارها. وغالبا ما تتملك الناس العواطف حيال هذا السؤال، إذ أن لدينا - ككائنات بشرية - تضمينات عميقة له. هل هناك من الأحداث ما لا يستدعي وقوعها العلة الأولى ؟ هذا ما كان يعتقده برتراند راسل الفيلسوف البريطانى ذائع الصيت. وفى خلال مناظرة راسل الشهيرة مع ريفيرند كوبلستون Reverend Copleston حول أصل العالم، قال كوبلستون إنه لابد لكل شىء من علة، ومن ثمّ فلابد للعالم من علة، وهذه العلة - فى المآل الأخير - هى الإله. ويسأل كوبلستون : "لكن المحور العام لديك إذن يالورد راسل، أنك ترى من غير الشرعى حتى أن أسال سؤالى عن العلة من وجود العالم ؟" فيردّ راسل قائلا : "أجل... هذا هو موقفى" وهكذا أفضت المناظرة كلها إلى طريق مسدود، إذ رفضت كلتا وجهتى النظر المتصارعتين أية مهادنة أو توافق أو تنازل .

ومن الطريف أن النظرية الكمومية للمعلومات قد أضفت انعطافة جديدة على هذا السؤال الذى يتخطى عمره الألف سنة، عن الحتمية مقابل العشوائية. ولا تقتصر أهمية هذا السؤال المعضل عما إذا ما كانت هناك حقا أية فُسحة للأفعال الحرة فى كون مرتب ومهنّدس ككوننا. إذا كانت قوانين الواقع تهيمن على كل شىء، فمن شأنها أن تخضع حتى أفعالنا نحن وتوجهها. ولا يترك ذلك لنا - بطبيعة الحال - أى مجال للحديث عن العنصر البشرى الذى نطلق عليه "الإرادة الحرة"، أى الخاصية التى نشعر

بقوة أنها تميزنا عن المواد غير الحية (وعن الحيوانات الأخرى)، بل والتى نرى فيها أساس وعينا كبشر.

إن غالبيتنا فى المجتمعات الغربية تشعر بأن الحتمية لا يمكنها أن تسيطر بالكامل على الواقع، فنحن موقنون من امتلاكنا إرادة حرة، رغم أن تحديد حيز هذه الإرادة بدقة أبعد ما يكون عن الإجماع عليه.

ولداعي المناقشة، دعنا نعرف الإرادة الحرة بقدرة المرء على التحكم فى أفعاله على نحو لا تمليه الأحداث السالفة، أى على نحو يحتوي على بعض جوانب العشوائية، علاوة على بعض من الحتمية. ومن هنا إذا قبلنا مفهوم أننا بالفعل نمتلك إرادة حرة، فمعنى هذا أننا حقا - بمعنى ما - ننعم بفكرة أنه ربما يكون بالواقع جانب من العشوائية (وبالطبع لا يمكن أن تكون كل جوانب الواقع عشوائية، فمن شأن هذا بالمثل أن يقُصى كل دور للإرادة الحرة).

وما زال ذلك يثير سؤالا محيرا، فالإجابتان المحتملتان : "أجل، لدينا بالتأكيد إرادة حرة، أو" لا.. ليس لدينا " كلتاهما تبدو مفضية إلى تناقض. افترض - على سبيل المثال أنك أجبت بالإيجاب " أجل لدينا إرادة حرة، فكيف يمكنك أن تجسّد صلاحية هذه المقولة ؟ إن عليك أن تأتى بأفعال بطريقة تنفي كونها محددة مسبقا بفعل أى شىء. ولكن هل يتأتى ذلك أبدا ، إذا كان أى فعل تأتيه، يمكن أن يحدده فى الواقع شىء ما ؟ ولكى نمضى فى تكييف هذا الجدال، فلنقل إنك قررت أن تتصرف بما يخالف شخصيتك، فإذا كنت ذا شخصية انطوائية، قررت أن تبدأ حوارا مع غريب بالشارع لا تعرفه من قبل. ولكن نفس حقيقة أنك قررت أن تتصرف على عكس نوازعك المألوفة، تبدو بذاتها محددة سلفا بالكامل وهى كذلك ببساطة لحقيقة أنك حددت أنك سوف تتصرف خلافا لشخصيتك كى تثبت إرادتك الحرة. وفى هذه الحالة، ربما - إبان محاولتك إثبات حرية إرادتك، فالأرجح أن تصوّر أنك بالفعل لا تملك أية إرادة حرة. فمن شأن بعض عوامل خارجية أن تتحكم فى مشاعرك، مما يؤدى بك فى النهاية إلى أن عليك التصرف خلافا لشخصيتك.

فإذا كان الأمر كذلك، فكل ما تحاول أن تفعله هو أنك تصارع الحتمية، وهذه فى حد ذاتها - وبمقتضى التعريف - عملية حتمية.

إن الصعوبة الجمة فى البرهنة الحاسمة على الإرادة الحرة تقودنا فى النهاية إلى أن نفترض أننا ربما لا نستطيع امتلاكها. غير أن الإجابة تبدو معاكسة على خط مستقيم لعلم النفس الإنسانى بأكمله. ألا يمكن نسبة الأشياء الخيرة التى أقوم بها إلىّ أنا شخصيا؟ هل كل شيء مقدّر مسبقا عن طريق جيناتي أو تاريخي أو والدىّ أو النظام الاجتماعى أو أى شىء من باقى الكون ؟ بل هناك ما هو أسوأ، فنحن نميل إلى مكافأة الأناس لإتيانهم أفعالا طيبة ونعاقب أولئك الذين يأتون السيئات، ومن شأن هذا أن يبدو سوء تبصر إذا كان الناس حقّا لا يملكون أية إرادة حرة. ففيم تعاقب شخصا على إتيان شىء ما إذا لم يكن قادرا على غير ذلك ؟ وهل كل أعرافنا ونظامنا القضائى قائمة على "وهم" الإرادة الحرة ؟ كم يبدو هذا خطأً، رغم عدم وجود علة منطقية لضرورة الإرادة الحرة.

يبدو أننا نفتقر إلى الوسيلة للبرهنة على وجود الإرادة الحرة، وقد أقر بذلك البيولوجى الشهير توماس هنرى هكسلى Thomas Henry Huxley بأسلوب شاعرى حيث قال : "أى دليل على أن الهمج والرعاع ما هم إلا سلالة عليا من الدمى المتحركة التى تأكل دون مسرة وتصيح دونما ألم وليس لها من رغبات ولا تعرف شيئًا وإنما فقط تحاكى الكائنات الذكية؟

توجد الإرادة الحرة فى محل ما بين قطبى العشوائية والحتمية واللتين تبدوان على طرفى نقيض من الواقع.. ومن الجلى أنه لا الجزافية المطلقة، ولا الحتمية المطلقة قد تترك أى مجال للإرادة الحرة، فإذا كان العالم جزافيا تماما، فما من هيمنة لنا - بحكم ذلك - على ما سيحدث، وإذا كان العالم حتميا تماما فليس لنا بالمثل سيطرة على الأحداث المستقبلية، حيث أنها مقدّرة مسبقا. وهكذا فأنت محاصر بين شقى الرحى على جميع الأحوال.

ولكن، هل العشوائية والحتمية حقا على طرفي نقيض حينما نأتي إلى تعريف الواقع ؟ هل تنفي كل منهما الأخرى، بمعنى استحالة وجودهما معا داخل نفس الإطار ؟ يتطرق أحدث نموذج فيزيائى لدينا - نظرية الكم - إلى أن ثمة سبيلا إلى اقترانهما معا. فكل حدث كمومى هو - أساسا - جزافى ، إلا أننا نجد أن الأجسام الكبيرة تسلك سلوكا تحكمه الحتمية، فكيف يتأتى ذلك؟

الإجابة هى أنه فى بعض الأحيان إذ نقرن بين عدة أشياء عشوائية، قد تظهر نتيجة أكثر قابلية للتنبؤ بها.

ونحن نقابل ذلك فى الفيزياء فى كل وقت، فكل ذرة فى قضيب مغناطيسى يمكن اعتبارها بالغة الصغر، بيد أن سلوكها نزوى. ولا يمكن التنبؤ بالمحور المغناطيسى لذرة مفردة، إلا إذا سلّطنا مؤثرًا خارجيا قويا عليها لتوحيد اتجاهه. وعلى أية حال، حتى بدون هذا المؤثر الخارجى، فإن كل هذه الذرات ذات المحاور العشوائية التوزيع، يمكنها معًا أن تكوّن مغناطيسا ذا قطبين شمالى وجنوبى متمايزين. لذا فالحدث الحتمى يمكن أن ينبع من آخر عشوائى.

ومن هنا فإن العشوائية وإن تكن - على المستوى المجهرى - لا تصل دومًا إلى المستوى العيانى. وإنه لأمر مخادع تماما أنه رغم كون ميكانيكا الكم هى أفضل وأدق وصف لدينا للطبيعة، فإن عالم الأجسام العيانية - ذلك العالم الذى يعنينا كبشر فى حيواتنا اليومية - عالم حتمى بالكامل. ومن شأن هذا أن يستوجب أنه حتى مع عشوائية العالم على المستوى المجهرى، فتظل الإرادة الحرة غائبة على المستوى العيانى.

ولكن، ماذا تعني بالضبط العشوائية ؟ نحن نفكر فى إلقاء عملة معدنية ورصد الوجه الذى تستقر عليه كعملية عشوائية. وهى عشوائية لأن لدينا - قبل رصد النتيجة - فرصة متساوية لظهور هذا الوجه أو ذلك، ومن الصعوبة بمكان أن تتكهن بالنتيجة. ولكن.. ماذا لو أننا كنا نعرف كل ما يختص بقطعة العملة، وزنها والكيفية التى ألقيت بها وأية خواص تمت بصلة للهواء المحيط بها. تخبرنا قوانين نيوتن حينئذ أن من

شأننا أن نستطيع التنبؤ بنتيجة كل رمية. ومن ثمّ فالعشوائية - تأسيسا على الفيزياء الكلاسيكية - أمر ظاهرى محض، فما من عشوائية فى الأساس إذا ما توفرت لدينا المعلومات كلها.

وفيزيائيات الكم، بما بها من مزيج غريب من العشوائية والحتمية، تثري نقاشنا حول هذه القضايا بكل تأكيد. واللا يقين فى الفيزياء التقليدية - بخلاف فيزياء الكم - ليس أمراً أساسيا ولكنه ببساطة ينبع من جهلنا بحقائق معينة. ويعبر جورج بول عن هذه الفكرة بجلاء إذ يقول : "الاحتمالية هى توقع مؤسس على معارف جزئية، ومن شأن الإلمام التام بكل الملابسات المؤثرة على وقوع حدث ما، أن يحول التوقّع إلى يقين مؤكد، فلا يترك مكانا أو احتياجا إلى نظرية الاحتمالات" على أن هذه المقولة لا تنطبق على فيزيائيات الكم، فواحدة من أهم المعالم المميزة لنظرية الكم هى أنه حتى لو أن لدينا معلومات عن منظومة ما، فالنتيجة تظل قابلة للاحتمالات، فطبقا لنظرية الكم يجوز أن يكون الواقع عشوائيًا ليس فى ظاهره فقط - حيث قد نفتقر إلى بعض المعلومات - بل وفى أساسه أيضاً.

وها هنا تجربة جمة البساطة توضح أن ميكانيكا الكم تناظر إلقاء عملة معدنية. تخيل فوتونا - وهو كما قلنا جسيم من الضوء - يلاقي مفرّق أشعة (استحضر أن مفرّق الأشعة ما هو إلا مرآة مغطاة بطلاء فضى معين يمكّننا من ضبط احتمالية انعكاس الفوتون أو نفاذه) . ولنقل إننا عادلنا ما بين الاحتمالين بحيث أصبح الموقف مكافئا لإلقاء العملة المعدنية.

وكما أن قطعة النقود لدى إلقائها ستستقر على أحد وجهيها، كذلك قد يخترق الفوتون مفرّق الضوء لدى ارتطامه به أو ينعكس. وبقدر ما تشير كل التجارب، فتجربة مفرق الأشعة عشوائية تماماً. وفى كل مرة يلتقي فيها الفوتون بالمفرّق، ليس بمقدورنا - بأى وسيلة كانت - التكهن بمساره التالى، فاحتمالا الانعكاس والنفاذ قائمان بالتساوي لعشوائية حدوثهما.

بيد أني أرغب الآن فى التمييز ما بين العملة المعدنية والفوتون. فسلوك العملة عشوائى، ليس من الأساس، وإنما لأنه غير قابل للتنبؤ به. أما سلوك الفوتون فليس غير قابل للتنبؤ فقط، وإنما هو – من الأساس – عشوائى. فماذا يمكن أن يعنى ذلك ؟

إن قوانين الفيزياء التقليدية هى التى تحكم سلوك العملة. فلو أننا ألمنا بالظروف الابتدائية لدى إلقائها بالضبط، لأمكننا – من ناحية المبدأ – أن نتنبأ بالنتيجة بصورة كاملة، ولكن ربما يستغرق حساب النتيجة وقتا طويلا للغاية. وبصرف النظر عن كل ذلك فالمعادلات التى تحكم حركة العملة هى حتمية تماما ويمكن – من ناحية المبدأ – حلها بحيث تنبئنا بالنتيجة. لذا تلوح نتيجة إلقاء العملة عشوائية. لكنها حقا حتمية، إلا أنها يصعب التنبؤ بها.

والآن دعنا نتدارس الموقف مع الفوتون ومفرّق الأشعة. إن المعادلات كمومية، وهى فى ذات الوقت حتمية. واللا حتمية فى ميكانيكا الكم تتجلى فقط من خلال القياسات المتعمدة أو غير المتعمدة (أى البيئية). فعندما لا تكون المنظومة عرضة للاضطراب بفعل أى منهما، يصبح لها منظور واضح ومحدد وحتمى – كما توصّفه لنا معادلة شرودينجر. وما تخبرنا به هذه المعادلة هو أن الفوتون – بعد مفرق الأشعة – قد اخترق المفرق كما انعكس عليه أيضًا.. فكلا الإمكانيتين – فى الواقع – تحدث، و الفوتون موجود فى مكانين فى ذات الوقت، فهو خلف مفرق الأشعة بعد أن نفذ خلاله، وهو أمامه بعد أن انعكس عليه. وخلافا لرمى العملة المعدنية، من السهولة بمكان حل المعادلات الكمومية للتوصل لهذه الخلاصة التى تبدو متناقضة حقا !

ولكن ماذا جرى للعشوائية ؟ إنها تتسلل إلينا عبر الباب الخلفى. تخيل أننا نود الآن التحقق من مكان وجود الفوتون، أى أننا نرغب فى القيام بقياسات مستفيضة. إذا ما وضعنا وسائل استشعار قبل مفرق الشعاع وبعده فإنها ستسجل حينذاك وجود الفوتون أو غيابه. ولنفترض أن الاستشعار يتم تكبيره وتحويله إلى نقرة مسموعة. فماذا يحدث فى التجربة الواقعية ؟ ستصدر أجهزة الاستشعار نقرات عشوائية.

وما من سبيل على الإطلاق إلى التعرف على الجهاز الذى سيصدر النقرة فى كل مرة تشغيل. وهذه العشوائية أمر أصيل، والمسألة ليست مجرد عدم القابلية للتنبؤ كما فى حالة إلقاء العملة. لماذا؟

كيف نعرف أن المعادلة التى تخبرنا بأن الفوتون موجود على الجانبين معا قبل القياس، لا يمكن أن يلحق بها قانون حتمية آخر يخبرنا بما يحدث عندما يستكشف الفوتون؟

والعلة فى أننا نعرف أن العشوائية من نوع " إلقاء العملة " لا تندرج هنا هى كما يلى: هب أننا - بدلا من تحري الفوتون بعد مفرق الشعاع الأول وضعنا مفرقا آخر للأشعة بعد الأول، فماذا يحدث آنذاك ؟ لو سلك الفوتون سلوكا تقليديا فسيكون ذلك حتميا لدى كلا المفرقين، ولكن النتيجة ستكون حتى أكثر صعوبة فى التنبؤ بها، ومن شأننا أن نتوقع نتائج عشوائية من الفوتون عند مفرق الأشعة الثانى أيضًا. فيجب أن يستشعر أمامه لنصف الوقت، وخلفه لنصف الوقت.

ولكن ليس هذا ما يحدث فى المختبر، ففى تجربة واقعية ينتهي الأمر دومًا وبصورة حتمية، والفوتون خلف مفرق الأشعة الثاني. وهكذا فإن عمليتين عشوائيتين كموميتين أُبطلتا بكيفية ما لنحصل على شيء حتمي، وهو أمر لا يحدث على الإطلاق تقليديا. تخيل أنك تلقى بعملة معدنية مرتين وتجد أنها دوما ما تستقر على أحد وجهيها، أما إذا ألقيت بها مرة واحدة فإنها تستقر فى بعض الأحيان على أحد الوجهين وفى الأحيان الأخرى على الوجه الآخر : بطبيعة الحال لا يحدث هذا مطلقا، ولهذا السبب نعتقد أن هناك شيئا مختلفا فى سلوك الفوتون عما يحدث فى أية منظومة تقليدية.

حسنا، ما الذى تعلمناه ؟ لقد تعلمنا أن كل الأحداث الكمومية الأساسية هى فى جوهرها عشوائية حقا. ولكن هذا لا يعني بطبيعة الحال أن الواقع المبنى على تلكم الأحداث ينبغي أن يكون بالضرورة عشوائيا. ولقد رأينا كيف أن العشوائية والحتمية قد توجدان معا، بل إن الحتمية فضلا عن ذلك - قد تنبع من أصول عشوائية. ويلقي هذا بعض الضوء على أصل الواقع وطبيعته.

وهناك مبدأ سلوكى كمومى طريف يجسد كيف يمكن أن تتعاون العشوائية والحتمية وتعملان معا يدا بيد لتتمخضا عن نتيجة باهرة. فلتستحضر مسلسل "رحلة النجوم"(١) وحجرة "النقل عن بعد". هل هناك من يصدّق بإمكانية نقل الأجسام عن بعد ؟ من الأفضل لك أن تصدق. إن النقل عن بعُد يخرج الجسم الموجود فى موضع ما (أ) عن حالته المادية ليظهر مرة أخرى فى مكان قصىّ (ب) فى وقت لاحق. حسنا .. على أن النقل عن بعد فى حالة الكموم يختلف اختلافا طفيفا، حيث إننا لا ننقل كامل الجسم عن بعد، وإنما ننقل معلوماته الكمومية فقط من الجسيم (أ) إلى الجسيم (ب). على أن المبدأ هو نفسه (و فى الحساب الختامى، فإن مدار البحث فى هذا الكتاب هو أننا جميعنا محض شذرات من المعلومات وحيث أن كل الجسيمات الكمومية - على أية حال - غير قابلة للتمييز فيما بينها، فهذا ما يصل بنا إلى واقعية النقل عن بعد. وما أعنيه بهذا هو أن كل الإلكترونات على سبيل المثال - ذات خواص متطابقة (من كتلة وشحنة)، والملمح الوحيد الذى يميز أحدها عن الآخر هو اتجاه دورانها. فبما أن كل الخواص الأخرى لإلكترونين هى نفسها، فإذا أمكننا أن نبدل اتجاه دوران إلكترون عن طريق شفرة ما، فبوسعنا أن نعدّ ذلك نقلا ناجحا لمعلومات كمومية بين الإلكترونين وبعبارة أخرى سيصبح الإلكترون الثاني نسخة طبق الأصل من الأول، والاثنان قابلان للتمييز ويصح هذا على كل الجسيمات من بروتونات وذرات وغيرها.

وإحدى طرق النقل عن بعد (وهو بالتأكيد الأسلوب الذى تصوره أفلام الخيال العلمى المختلفة على شاكلة العرض السينمائى "الذبابة"(٢)) هو أن تلم - بداية - بكافة خواص الجسم (أى أن تحصل على جميع المعلومات عن تكوينه) ثم تبعث بهذه

---

(١) Star Trek رحلة النجوم : مسلسل أمريكى من نوع الخيال العلمى أخرج لأول مرة عام ١٩٦٦، يتحدث عن ابتداع وسيلة للسفر بسرعة تربو على سرعة الضوء ليتم الاتصال بكائنات فضائية أخرى. بُنيت على هذا المسلسل أكثر من عشرة أفلام سينمائية وحاز شعبية طاغية. (المترجم)

(٢) The fly الذبابة : فيلم من نوع الخيال العلمى كتب قصته جورج لانجيلا وأخرجه للسينما دافيد كرونتبيرج عن عالم عبقرى متهوس يجري - على نفسه - تجربة النقل عن بُعد، وعن طريق الخطأ يتحول إلى كائن هجين من إنسان وذبابة. (المترجم)

المعلومات فى هيئة خيط تقليدى من البيانات إلى الموضع (ب) الذى سيعود ظهور الجسم به.

والمشكلة فى هذا الاقتراح هى : إذا كان لدينا إلكترون واحد ولا نعرف اتجاه دورانه، فلن يمكننا أن نحدده، إذ يستوجب ذلك أن نجرى قياسات، ومن ثم سنتلف المعلومات الكمومية الأصلية فى الدوران. وهكذا يبدو أن قوانين ميكانيكا الكم تمنع النقل عن بعد لمنظومة كمومية مفردة (إلا إذا عرفنا حالتها مقدما).

على أية حال سيكشف الأمر عن عدم الاحتياج لمعرفة حالة المنظومة كى ننقلها عن بعد، بل كل ما نحتاج عمله هو أن نستخدم المعلومات الكمومية المتبادلة من نفس نوعية تلك الموجودة بالحاسوب الكمومى. ويمدنا هذا بارتباط فائق بين الموضعين (أ)، (ب) (وهو مايعرف باصطلاح التشابك) وبذلك يتيسر نقل المعلومات الكمومية. وحتى رغم أن القياس الكمومى المفعّل للنقل ما يزال عشوائيا، فهو ما يمكن التغلب عليه بإرسال بعض المعلومات الكلاسيكية المساعدة من (أ) إلى (ب)، فتنتقل نتيجة القياس الحقيقية عند (أ) إلى (ب)، بل يمكن عمل هذا حتى عبر خط تليفونى معتاد. وبعد اكتمال عملية النقل عن بعد، تُدمر الحالة الأصلية للجسيم عند (أ). ويصور هذا كيف يمكن تنفيذ النقل عن بعد عمليا على مستوى الكموم، رغم الطبيعة الأصلية للعشوائية.

وبمقدورنا فقط – فى الوقت الراهن – نقل الذرات المفردة والفوتونات عبر مسافة المترين، أى إن المبدأ الأساسى قد تم التحقق منه تجريبيا، فى البداية بواسطة المجموعة البحثية الخاصة بأنتون تسالينجر Anton Zeilinger بجامعة فيينا، ثم بعد ذلك بطريقة مستقلة من خلال مجموعة فرانشيسكو دى مارتينى Francesco de Martini بجامعة روما، ولكن يبقى السؤال. هل بوسعنا يوما ما أن نستعمل ذلك لنقل الأجسام الضخمة (وفى خاتمة المطاف : نقل الإنسان) عن بعد ؟ فالأمور فى حالة البشر تغدو أكثر تعقدا. فإذا ما نقلنا – بأمانة – كل ذرة فى جسدك، فهل يعني هذا بالضرورة انتقالك أنت بالكامل عن بعد ؟ وبعبارة أخرى، هل ينسب هذا البدن الذى انتقل إليك أنت، والإجابة على ذلك : ليس لدينا بالفعل أدنى فكرة عن ذلك.

والآن، وبمعنى أكثر عمومية، للتمييز ما بين العشوائية الظاهرية (التقليدية) والعشوائية الحقيقية (الكمومية) نحتاج بالفعل لمقياس أكثر وضوحا كي نقيم هذا الفرق عدديا. ومن الطريف للغاية أن مثل هذا المقياس موجود بالفعل، ورغم صلته الوثيقة بإنتروبيا شانون، فله باعث مختلف. ولكى نتفهم لماذا لا تجدي إنتروبيا شانون ذاتها نفعا كمقياس للعشوائية، تدبر المثال التالي:

إن المثال النمطى للعملية العشوائية كما بينا هو إلقاء عملة معدنية، إذ يتعاقب ظهور الوجهين (م)، (ك) عشوائيا. فلنقل إننا بعد ١٠ رميات نتوقع تعاقبا مثل م م ك م ك ك ك م ك ك. ويقل توقعنا أن نجد التعاقب م م م م م م م م م م. فالتعاقب الأول يبدو ناتجا من منطلق عشوائى كقطعة نقود، أما التعاقب الثانى فهو منسق وبعيد عن العشوائية، ولعلنا نعتقد أن التعاقب الأخير بعيد الاحتمال، بيد أن ذلك خطأ.

وها هنا تواجهنا مشكلة. فحيث إن احتمال ظهور أى من الوجهين متساو ومقداره ٥٠ ٪، فإن أى تعاقب للوجهين محتمل كأى تعاقب آخر (نادرا ما يقدّر لاعبو اليانصيب أن احتمال التعاقب ١،٢،٣،٤،٥،٦ يعادل احتمال التعاقب ٢،٣،١٧،٣٠،٤١،٤٥ مثلا). وصحيح أن التعاقب الذى ينتهي بعدد متساو من وجهى العملة أكثر احتمالا من ظهور وجه واحد فقط، إلا أن ذلك يرجع إلى تعدد التعاقبات، فبينما هناك تعاقب واحد فقط لظهور وجه واحد، هناك آلاف التعاقبات ذات الاحتمالات المتساوية فى عدد ظهور الوجهين مثل م م م م م ك ك ك ك ك أو م ك م ك م ك م ك م ك أو ك ك ك م م ك ك م م م وهلم جرا).

وكل تعاقب عشوائى يتساوى احتماله مع أى تعاقب آخر ولكن يظل لدينا شعور قوى بأنه فى حين يبدو التعاقب م م ك م ك ك م ك م عشوائيا، يبدو التعاقب م م م م م م م م م م منسقا للغاية. ولا يبدو من السهل رصد الفارق الأساسى بين الاحتمالين ما داما متساويين (وإن كان احتمال أيهما لا يزيد عن الواحد فى الألف). ولهذا السبب تخفق إنتروبيا شانون فى ترجمة العشوائية فى صورة كميات، لأنها قائمة على الاحتمالات فحسب.

كان الرياضى الروسى أندريه كولموجوروف Andrey Kolmogorov هو من أدخل فى نهاية عقد الخمسينيات المقياس المستخدم فى حل مشكلة ترجمة العشوائية كما يلى : تعتمد عشوائية التعاقب على مدى صعوبة الحصول على هذا التعاقب وكيفية ذلك، والجواب : بالحاسوب.

تخيل تصميمك برنامجا لحاسوبك كى ينتج تعاقبا لوجهى العملة، فالتعاقب م م م م م م م م م م م يحتاج لأمر واحد فقط "أخرج م عشرة مرات" ولكن التعاقب م ك م م ك ك م ك م لا ينتج بمثل هذه السهولة، فربما سيحتاج البرنامج فى الواقع إلى أمر بطبع التعاقب م ك م م ك ك م ك م ومن هنا فعندما يكون لدينا تعاقب يبدو عشوائيا، يطول البرنامج المطلوب لإنتاجه طولا يصل على الأقل إلى طول التعاقب ذاته (وفى حالتنا هذه يتجاوز طول التعاقب لأنه يحتاج إلى تعليمات إضافية مثل : ابدأ التشغيل، اطبع التعاقب، انهِ البرنامج، إلخ. غير أن ذلك فارق هامشى عندما تطول السلسلة على أية حال جدا). ومهما يكن الأمر فعندما يكون الشىء منسقا كلما قصر البرنامج. ويعرف المقدار الذى يخبرنا بمدى اتساق الأشياء لدمجها فى برامج أقصر بتعقيدية كولموجوروف Kolmogorov's Complexity.

هل هناك مشكلة فى هذا التعريف ؟ ما لم نتوخَّ الحرص فسيبدو أن الحواسيب المختلفة يمكن أن تعطينا تقديرات مختلفة لمدى عشوائية الشىء. ولنا لحسن الحظ أن نذكر أنفسنا بمفهوم تورينج عن الحاسوب الشامل، ذلك الحاسوب الذى بمكنته أن يحاكى أى حاسوب آخر. ومن ثمّ، ولكى نتحاشى مثل هذا الخلط اقترح كولموجوروف حساب هذا التعقيد باستخدام حاسوب شامل.

ويتطبيق أفكار كولموجوروف بوسعنا إعادة فحص الفرق بين العشوائية التقليدية الظاهرية والعشوائية الكمومية الأساسية. لقد قلنا إن تعاقب رميات العملة المعدنية من نوع م م م ك ك ك م ك ك م هو عشوائى لعدم إمكانية تصميم برنامج أقصر للحصول عليه. تخيل امتلاكك كل المعلومات التى تحكم رمية العملة المعدنية (مثل فرق

الوزن النسبى بين وجهى العملة، سرعة دورانها، الارتفاع الذى تُرمى منه وما إلى ذلك)، يمكننا حينئذ وبالإلمام بهذه المعلومات بالمستوى الكافى من الدقة - أن ندوّن برنامجا يعطي التعاقب الناتج لأى عدد من رميات العملة. ذلك لأن الفيزياء التقليدية ذات حتمية كاملة. وينبغى أن يكون طول هذا البرنامج مع الفيزياء التقليدية بالضرورة أقصر من مدة إلقاء العملة ذاتها (لعدد ضخم من مرات الرمى). وفى الحالة الكمومية لن يكون الأمر كذلك. وبالنظر لمشكلة التنبؤ بتعاقبات نقرات الفوتون بجهاز الاستشعار (المناظر الكمومى لعملية إلقاء العملة) سيستطيع البرنامج المستعمل وصف التعاقبات فقط إذا أجريت كل تجربة بمفردها. ومن هنا يتعين أن يكون طول البرنامج - على أقل تقدير - مساويا لطول زمن تعاقب نقرات الجهاز الذى يحاول وصفه، فما من وسيلة لاختصار ذلك الوقت.

وهاهنا تبزغ إمكانية مثيرة. هل بمقدورنا تطبيق منطق كولموجوروف لفهم الأصول التى أتى منها الواقع؟ هل بوسعنا القول بأن قوانيننا التى تصف الواقع هى بالضبط محاولة لفهم ديناميكيات الكون ولاختزال تعقيداته ؟ لو أن الأمر كذلك فإن القوانين ذاتها (سواء فى الفيزياء أو البيولوجيا أو الاقتصاد أو الاجتماع) يمكن النظر لها كبرامج مختصرة تصف بنية الواقع. ففى الفيزياء مثلا، وبدلا من إجراء أى تجربة، بل وكل تجربة (أى بدلا من كتابة البرنامج بأكمله) بمقدورنا تدوين برنامج مختزل يستعمل فقط قوانين الفيزياء الراهنة فى التنبؤ بنتيجة كل تجربة. ومن شأن هذا البرنامج الموجز أن يكون أكثر كفاءة - وبكثير - من البرنامج الفعلى المستعمل فى إجراء التجارب منفردة. وبهذه الطريقة يمكننا اعتبار أن واجبنا كعلماء هو العثور على أقصر برنامج يصور الواقع. فلنبحث إذن كيف نحقق هذا الاختزال للتعقيد فى العلم.

لكى نستوعب جيدا النقاط المهمة، نحتاج بادئ ذى بدء إلى فهم منطق العلم، والفيزياء على وجه الخصوص. ولقد كان ذلك هو الأمر الذى كرس الفيلسوف كارل بوبر Karl popper حياته له. وسيكون أسلوبه فى فهم العلم هو مفتاحنا لفهم الواقع فى الباب الأخير. فنلخصه هنا:

فى سنوات شباب بوبر فى عشرينيات القرن، كانت علوم الفيزياء فى أوجها، بيد أن معارف أخرى شرعت فى الظهور وهى المعروفة الآن بالعلوم الاجتماعية. وكان سيجموند فرويد هو الرائد فى علم النفس (من خلال التحليل النفسى)، كما ارتقت بالمثل علوم الاجتماع والسياسة. وفى حين يروق لبعض الناس أن يطلقوا على العلوم الاجتماعية العلوم (الرهيفة) كمقابل لمصطلح العلوم الرصينة المؤسسة على حقائق، مثل الفيزياء، كان بوبر مهتما بأن ينسب لكلمة العلم أى شىء كالتحليل النفسى.

كان هدفه الأساسى أن يصوغ معيارا يطلق على أساسه مسمى العلم فى المقام الأول. وكانت الفكرة المحورية التى تسلطت عليه هى : بينما يسهل تفنيد نظرية فيزيائية، يصعب تفنيد نظرية نفسية (ما عليك إلا أن تجرى تجربة تتعارض نتائجها فى جلاء مع نظرية علمية ما، والتجارب الكمومية فى زمن بوبر، كانت أمثلة حية على دحض الفيزياء التقليدية).

كم مرة سمعت فيها أن شخصا ليس واثقا من نفسه لأن أمه لم تكن تحبه ؟ ومرة أخرى تسمع من آخر أنه شديد الثقة من نفسه لأن أمه لم تكن تحبه ومن ثم كان عليه أن يعتمد على نفسه. وهاهنا المشكلة، فنظرية "أمه لم تكن تحبه" تبدو قابلة للتفسير كثيرا... كثيرا لدرجة أنها يمكن استخدامها لتبرير حقيقتين متضادتين على طول الخط (فالأول واثق بنفسه والآخر فاقد لهذه الثقة). ويعني ذلك أن هذه النظرية يستحيل دحضها أو البرهنة على عدم صحتها فى الحياة العملية.

كان فيلسوف القرن الثامن عشر الاسكتلندى دافيد هيوم مهموما بصفة خاصة بعدم قابلية بعض الادعاءات للدحض (لم يكن ثمة وجود لمحللين نفسيين فى زمنه، وإنما كان اهتمامه منصبا على الفلسفة والدين). ولقد صاغ ذلك فى مقولته : "أيما كان عدد البجعات البيض التى نراها فى العالم فلا يمكن أن ينهض ذلك برهانا على أن كل البجع أبيض" على أية حال فإن مشاهدة بجعة سوداء واحدة كافية لتفنيد ذلك، وهذا هو الحال مع العلم. لقد ظلت فيزيائيات نيوتن محل اختبار عبر مائتى عام، ودائما ما كانت تثبت صحتها، ولكن اختبارا واحدا فى نهاية القرن التاسع عشر –

فى شكل إشعاع الجسم الأسود كان كافيا لتقويضها، وهكذا مثّل الجسم الأسود فى دنيا الفيزياء، (البجعة السوداء) التى هدمت فرضية أن كل الفيزيائيات تخضع للفيزياء التقليدية. وبطبيعة الحال لا يعني ذلك انعدام فائدة الفيزياء التقليدية لنا على وجه الإطلاق، وإنما يعنى - فحسب - ضرورة ظهور نظرية جديدة الآن (هى ميكانيكا الكم) تأخذ فى حسبانها - إلى جانب الفيزياء التقليدية - "بجعتها السوداء". ونقيضا للمقولة التى يمكن دحضها، على شاكلة " كل البجعات فى هذا النهر بيضاء "تنهض مقولة من نوعية" الرب يعمل بسبل مبهمة " فكيف ياترى يتأتى لك أن تثبت بطلانها؟

كيف إذن يمكننا التيقن من أى شىء يأتينا من ناحية العلم ؟ ما من سبيل. ولكن بوبر بدلا من اعتبار ذلك مشكلة، فكر فى أن هذا هو لب العلم. فالنظرية تكون أصلية فقط إذا ما وجد سبيل إلى تفنيدها ! فإذا عجزت عن إبطال نظريتك خارج أية ملابسات كانت (كأن تستحدث تجربة كافية لإقصائها) فتلك نظرية غير جديرة بمعيار المعرفة، إذ لا سبيل إلى اختبارها أبدا. وهكذا تحول بوبر بما يبدو أنه ملمح سلبى للعلم (وهو حقيقة أن أية نظرية يمكن إثبات بطلانها) إلى أقصى ملامحه أساسية وضرورة. ولقد ارتقى العلم إلى المكانة التى نشهدها اليوم عبر قرون من الدحض والتفنيد من جهة والتقدم والتخمين من جهة أخرى.

فللنظر ما إذا كان باستطاعتنا أن نؤول منطق بوبر فى نطاق سياق نظرية المعلومات، فما أن تترسخ أركان نظرية ما عن طريق بضع تجارب حتى نشرع فى اكتساب المزيد من الثقة فى صحتها (رغم أننا ربما، وعادة ما نكون فى الحساب الأخير، على خطأ) ونتيجة لهذا فإننا نمنح فرصة أعلى للنظرية التى تجتاز الاختبار التالى، فإذا ما اجتازته فمن شأن قواعد المعلومات أن تقول إن هذا حدث ذو معلومات ضئيلة. والسبب هو أن الاحتمال الحالى لحدث ما يعني اندهاشا أقل لدى وقوعه.

وباطّراد الزيادة فى ثقتنا، تقل تدريجيا احتمالية الصحة التى ننسبها للنظرية المعرضة للدحض. وفى التجارب الحالية التى تختبر ميكانيكا الكم، ليس هناك كثيرون فى دوائر الفيزياء ممن يتوقعون إخفاق ميكانيكا الكم.

ولكن هذا هو السبب بالضبط فى أنها ستكون صدمة هائلة لهم إذا فشلت. لذا فإن دحض أمر ما عادة ما يجلب معلومات أكثر بكثير - سواء شعورية أو فيزيائية - مما يجلبه التأكد منه.

وتأتى كل المعلومات فى الفيزياء من الطريقة العلمية التى يطلق عليها بوبر "التخمين والدحض"(١) ولكن حتى هذه الطريقة يمكن النظر إليها كصورة من معالجة المعلومات. وينجم هذا عن إفادة دقيقة ومحددة للغاية هى " شفرة أوكام". وبوسعنا التفكير فى النظريات العلمية كبرامج يتم تشغيلها على حاسوب شامل، وتتمثل نتائجها فى أية تجربة كانت، نحاول أن ننمذجها (أى نصنع لها نموذجا) وتتسم نظريتنا بالقوة إذا استطعنا أن ندعم كل صفوف الأرصاد فى عدد قليل جدا من المعادلات. وكلما زادت قدرتنا على هذا الإدغام كلما ازداد اعتقادنا فى إمكانية فهم شيء ما، إذ يمكننا حينئذ توليد الواقع بمجمله من عدد قليل للغاية من القوانين.

وتقول قاعدة "شفرة أوكام" : إذا ما كان هناك العديد من النظريات التى تفسّر أمرًا ما، فعلينا أن ننتقى أوجزها على أنها النظرية الصحيحة. وأوجز وصف للطبيعة يفرز كل الأرصاد المكنة، هو الذى يفضُل الوصف بالغ الطول. ولنقتبس من لايبنتز، الذى التقينا به فى معرض أحد البراهين على وجود الرب، قوله : "لقد اختار الإله من الأشياء أبسطها فى الافتراضات وأغناها بالظواهر " ومن شأن هذه المقولة أن تقتضى ضمنا أن المعلومات بالكون قابلة للإدغام بشكل كبير إلى قوانين قليلة مبسطة .

على أننا نجابه الآن سؤالا طريفا، فأى نظرية نخرج بها ستكون محددة، أى إنها ستحتوى على مجموعة من القواعد الثابتة (والقليلة فيما نأمل)، وهو ما يعني - وكما تم التحقق منه كاملا داخل نظرية المعلومات على يد الرياضى الأمريكى جريجورى تشايتين Gregory Chaitin لأول مرة - أنها يمكنها فقط أن تفرز مجموعة محدودة من النتائج،

---

(١) نشر بوبر كتابه "التخمين والدحض Corjectwres and Refararions" عام ١٩٦٣، ولخص فيه فكرته فى أن كل النظريات العلمية بطبيعتها حدسية وتنزع للخطأ، وأن دحض النظريات العتيقة هو السبيل القويم للاكتشافات العلمية. (المترجم)

وبعبارة أخرى : سيكون هناك نتائج تجريبية متعددة لن يمكن إدغامها داخل النظرية، ويستدعي ذلك ضمنا وفعليا، عشوائية النتائج. ولقد تحقق لايبنتز من هذا حين قال: "ولكن حينما تتعقد قاعدة ما إلى أقصى حد فإن ما يتوافق معها يدخل فى عداد الأمر العشوائى" ويوجز هذا على نحو كامل وجهة نظر كولموجوروف نحو العشوائية : حينما تكون القاعدة معقدة بمقدار تعقد النتيجة التى تريد إفرازها فيجب النظر للنتيجة آنذاك على أنها معقدة أو بمعنى آخر : عشوائية.

واقتفاءً لأثر ذلك المنطق، يمكننا إيجاز العشوائية الكمومية فى مبدأين كان الفيزيائى الإيطالى كارلو روفيللى Carlo Rovelli أول من طرحهما، وقد استقى أحدهما من المعلومات الكلاسيكية، وينص ببساطة على أن أكثر المنظومات الكمومية بساطة لا يمكنها استيعاب أكثر من شذرة معلومات واحدة. وهذا المبدأ يثبت نفسه، حيث إن الشذرة - وبمقتضى التعريف - هى أصغر وحدة معلومات .

أما المبدأ الثانى، فهو أن بمقدرونا دوما الحصول على معلومات جديدة. وعندما نقرن هذا المبدأ بالأول فإنه يشير إلى العشوائية الأساسية التى نراها فى الأحداث الكمومية. والسبيل الوحيد للحصول على معلومات جديدة - حين يتراءى لنا أن لدينا كل المعلومات - هو عشوائية هذه المعلومات الجديدة. هل يمكن أن يكون ذلك مجرد إعادة صياغة للحقيقة القائلة بأن عددًا محددًا من المسلمات البديهية يمكن فقط أن يفضى إلى عدد محدد من النتائج ؟ إن كان الأمر كذلك فإن تضميناته تكون باعثة على الدهشة.

وما زالت هناك مدرسة فكرية تنظر إلى العشوائية فى نظرية الكم كنتيجة لعدم كمالها، أى نتيجة لافتقارنا لمعرفة نظرية حتمية أكثر تفصيلاً لم يزح عنها الستار. على كل حال إذا ما نظرنا إلى تنامى معارفنا فى الفيزيائيات عبر عملية الدمج والإدغام، فربما يقودنا هذا إلى أن العشوائية مظهر أصيل فى الكون، ومن ثم وجب أن تكون جزءا من أى وصف فيزيائى للواقع. ويمكن أن ننسب وجود العشوائية ببساطة إلى أن وصفنا للواقع دائما ما يكون - بحكم تكويننا له محدداً، وإن أى شىء يلزمه المزيد من المعلومات أكثر من ذلك يبدو عشوائيا (حيث إن وصفنا لا يمكنه التنبؤ بها).

ومن شأن هذا أن يعنى أن العشوائية فى فيزياء الكم قاصية عن أن تكون غير متوقعة، فهى طبقا لهذا المنطق أمر جوهرى حقا. وعلاوة على ذلك، فإن من شأن نظرية تحل محل فيزياء الكم – أيا كانت هذه النظرية – أن تظل تحتوى على بعض معالم العشوائية. وهى خلاصة عميقة حقا. ونظرا لأن الفيزياء فى تطور مستديم، فإن احتواءها على عشوائية أصيلة يثقل أية نظرية جديدة بالقيود.

ووجود خط رجعة يتمثل فى احتمال الخطأ، هو ما توصل إليه بوبر كجانب محورى فى المعرفة العلمية. وعلى أية حال فمن شأن هذا أن يكون صحيحا فى أى شكل آخر من أشكال المعرفة.. الفلسفية والنفسية، والدينية، والتاريخية، والفنية أو أى جانب آخر تسميه. ومن هذه الناحية فالمعرفة العلمية النافعة مثلها مثل الربح المالى فى المضاربة فى سوق المال، إذا لم يكن هناك عنصر المخاطرة، فما من ربح يُجنى (ولن تحصل على وجبة غداء مجانية). ولا يقتصر التنامي بهذه الطريقة على المعرفة العلمية والربح المالى فحسب، فأية معلومات نافعة فى أى سياق تصفه، دائما ما تتنامى بهذا الأسلوب.

ومن هنا فإن العلم هو صورة من المراهنة على نتائج مستقبلية. وقد كان الفيلسوف الألمانى الشهير إيمانويل كانت Immanuel Kant فى كتابه نقد التعليل المنطقى Critique of pure Reason فى عام ١٧٨١، هو أول من طرح فكرة تمثيل عدم اليقين إزاء العالم بالمقامرة. فقد ساوى "كانت" بين المراهنة والمعتقد البراجماتى فى صحة نظرياتنا وتُعدّ قاعدة العلاقة اللوغارتمية – وهى العلاقة المحورية لدى شانون – بمعنى ما – تطبيقا عمليا على هذا الطرح الفلسفى.

وينتشر التأثير المتبادل ما بين العشوائية والحتمية عبر كتابنا كله. فالعشوائية لدى بوبر تنحصر فى عمل التخمينات العلمية، والحتمية فى دحض هذه التخمينات من خلال التجارب المطوّلة.

وقد كان ذلك بالنسبة له السبيل الوحيد لضمان صحة المعلومات عن العالم، أى المعرفة. على أن المعلومات النافعة فى جوانب الواقع الأخرى، تنبع من نفس السبيل بالضبط.

خذ على سبيل المثال عملية تطور المعلومات البيولوجية، فالبيولوجيون يفكرون أساسا فى معالجة المعلومات الحيوية باعتبارها وليدة التطور. وللتطور عنصران،

أحدهما هو التحور العشوائى فى الشفرة الجينية والآخر هو الانتخاب الطبيعى الحتمى للملمح الجديد بفعل البيئة.

وبهذه الوسيلة نرى تطور المعلومات البيولوجية يبرز فى شكل مماثل لتولد أية معرفة علمية ذات جدوى.

ويصدق نفس الشيء على الاقتصاد، حيث الهدف المحورى هو فهم سلوك السوق والتنبؤ به، وسواء كان الغرض وضع سياسة اقتصادية أو اتخاذ قرار استثمار مالى بسيط، فأية استراتيجية حدسية ستُفقدها السوق قوتها ومن ثمّ إما تفنّد أو تؤكد.

ولقد ناقشنا بالمثل أن الحراك الاجتماعى هو صورة أخرى من معالجة المعلومات، وأن مستوى تقدم أى مجتمع قد يُنظر إليه كمرادف لقدرته على معالجة المعلومات. وتظهر العشوائية بين طوائف المجتمع من خلال التأثير المتبادل بين فرد وآخر. وعلى مستوى الجماعات نرى ملامح الحتمية من خلال كافة صنوف التحولات الطورية التى تلمّ بالمجتمع. ومن المحتمل أن المجتمعات التى طبقت أسلوب التخمين والدحض بفاعلية أعلى هى التى حظيت بفرصة التقدم بوتيرة أسرع وليس بمحض الصدفة. وفى الفيزيائيات كان ينظر للعشوائية كأمر جوهرى فى مفهوم الحرارة، بل إن العالم بأسره نُظر إليه حقيقة كمتطور نحو حالة إنتروبيا قصوى (أقصى عشوائية أو شواش) والجزء الحتمى فى هذه العملية كان هو استعمال المعلومات المتاحة فى تصميم الخطط لاستخلاص الشغل النافع بكفاءة ويمكن النظر إلى الديناميكا الحرارية بأسرها كمعركة بين "شبح ماكسويل" الدءوب الذى يحاول جاهداً استخلاص الاتساق من الشواش وبين العمليات الطبيعية الجانحة إلى العشوائية.

وأينما نظرنا نجد تحت السطح شذرات من المعلومات. وعلاوة على ذلك دائما ما تخضع المعلومات لنفس التطور عبر العشوائية والحتمية فى استقلال عن السياق. فهل يمكن إذن لاتحاد من العشوائية والحتمية أن يفرز كل المعلومات وكل شيء آخر مما نشهد حولنا؟

النقاط المحورية بالباب العاشر :

- يمكن النظر إلى العشوائية والحتمية باعتبارهما كامنين فى رحم كل مناحى الواقع.
- يرتبط ذلك بالسؤال الأزلى عن الإرادة الحرة، ذلك التساؤل الذى شغل بالنا منذ زمن قدامى الإغريق.
- بمقدرونا - عبر سلسلة من عمليات التخمين ثم الدحض Conjectures and refutations أن نرى كيف تتطور المعرفة.
- تفتح ميكانيكا الكم الباب واسعا لفكرة تأصل العشوائية (أى الأحداث التى ليس لها - على أقصى المستويات أساسية - أى أسباب خبيئة) .
- أصاب كولموجوروف فى أن جوهر العشوائية هو أن مجموعة من النتائج الخارجه من عملية عشوائية لا يمكنها أن تتولد فى أية صورة أبسط عن طريق تفعيل تلك العملية (أى إن عليك أن تستوعبها ثم ترى) .

الجزء الثالث

كان مدار البحث فى الجزء الأول من هذا الكتاب هو كيفية تعزيز المعلومات لعدد من العمليات التى تجرى فى حياتنا اليومية. فللمعلومات دورها المحورى فى الانتشار البيولوجى للحياة وفى إعداد محفظة الأوراق المالية فى مضاربات السوق أو فى الحصول على الشغل النافع من الطاقة العشوائية .

وقد بيّن لنا جزء الكتاب الثاني أن بالمعلومات أكثر من مجرد ما يتراءى للعين. وحينما يعدّل نموذجنا الفيزيائى من المنظور التقليدى إلى ذلك الكمومى، فإننا نجد أن نظريتنا عن المعلومات تتعدل هى الأخرى وتصبح أكثر تبصرا من ذي قبل. والميزة المحورية فى المعلومات الكمومية هى أن شذرة المعلومات توجد فى العديد من الحالات آنيا، ووجهها الظاهر لنا هو درجة العشوائية المتأصلة فيها . وقد يعيقنا ذلك أحيانا عندما نبغي استخدام المعلومات الكمومية فى أداء الشغل الميكانيكى النافع، بيد أنها توفر بالمثل فرصا . بمقدرونا استغلالها لفائدتنا (ولنتذكر كيف استخدمت العشوائية فى التشفير الكمومى لتجنب التنصت من قبل الآخرين عليك) .

وما هو أكثر أهمية ، أنه لأية معلومات كى تغدو أكثر تراكبا وأعلى جودة (حينما نكتسب على سبيل المثال معارف أكثر عن الكون) يلعب عنصر العشوائية الأصيل دورا محوريا. ونحن فى حاجة إلى مسايرة المعلومات المستحدثة من خلال هذا العنصر العشوائى ثم الحصول على عملية تُقصي - على نحو حتمى - ما هو غير صحيح أو غير مطلوب. والعنصر العشوائى هو الذى يتيح لنا اكتساب المعرفة النافعة .

ويوحّد الجزآن الأولان من الكتاب، عددا من الأفكار التى قد تبدو بلا رابط بينها، عن طريق لغة مشتركة فى معالجة المعلومات ، بيد أن السؤال الذى يظل مطروحا: من أين عساها تأتي تلكم المعلومات ؟ وبذلك نعود أدراجنا إلى تساؤلنا فى مفتتح الكتاب عن كيفية الخلق من العدم .

وتخرج كافة النظريات والتجارب المعروضة فى أول جزء من الكتاب عن نطاق الشك المنطقى . فكلها نظرات ثاقبة أعيد تمحصيها حتى غدت بمثابة الحقائق المقبولة . وفى الجزء الثالث من الكتاب سننتقل إلى تخوم أغور ... تخوم لم تُطرق من قبل .

(١١)

هل بمقدورنا إحصاء حبّات الرمال

ومن ذا الذى يعنيه ذلك؟

تحدثنا فى الباب التاسع عن فكرة آلة تورينج Turing الشاملة، وهى آلة قادرة على محاكاة أية آلة أخرى إذا ما توفر لها الوقت والطاقة الكافيان. فقد ناقشنا - مثلا - كيف يمكن أن يبرمَج معالج البيانات الميكرونى بثلاجتك بحيث يشغل الميكروسوفت ويندوز، ثم شرحنا منطق مور، وكيف صارت الحواسيب أسرع وأصغر. وبناءً على ذلك ربما أمكن ذرة ما - ذات اليوم - أن تحاكى تماما ما يمكن أن يؤديه الحاسب الشخصى اليوم.

يقودنا هذا إلى إمكانية شائعَة، وهى أن كل مكوِّن ضئيل من مكونات كوننا بوسعه أن يحاكى ما سواه إذا ما أعطى كفايته من الوقت والطاقة. ومن ثم فكوننا مركب من عدد هائل من الحواسيب الكمومية الشاملة الصغيرة، وهو ما يجعل من كوننا ذاته أضخم حاسوب كمومى بالتأكيد. فما مدى قدرة هذا الحاسوب الكمومى الأضخم ؟ كم شذرة ؟ وما عدد الخطوات الحسابية ؟ وما حجم المعلومات الإجمالى التى يستوعبها هذا الحاسوب؟

وانطلاقا من وجهة نظرنا فى أن كل شىء فى الواقع مركب من معلومات، من شأننا أن نفيد من معرفة إجمالى حجم المعلومات وما إذا كان هذا الحجم الكلى آخذا

فى التزايد أم النقصان. وقد أخبرنا القانون الثاني سلفا أن الإنتروبيا الفيزيائية بالكون تتزايد باطراد. وحيث إن للإنتروبيا الفيزيائية نفس شكل معلومات شانون، فالقانون الثاني ينبئنا بالمثل أن محتوى الكون من المعلومات لابد - بالضرورة - أن يتزايد هو الآخر. ولكن، ماذا يعني هذا بالنسبة لنا ؟ إذا ما اعتبرنا هدفنا هو الاستيعاب الكامل للكون، فعلينا أن نقبل أن خط النهاية الذى نبغيه ينتقل مبتعدا عنا أكثر فأكثر.

إننا نعرف واقعنا من خلال القوانين والقواعد التى نبنيها تأسيسا على المعلومات التى نجمعها. فميكانيكا الكم - على سبيل المثال تزودنا بواقع جدّ مختلف عما أخبرتنا الميكانيكا الكلاسيكية به. ففى العصر الحجرى كان إدراك سكان الكهوف للواقع، وما هو فى حيز الإمكان بالنسبة لهم مختلفا بكل تأكيد عن مفهوم نيوتن. وبهذا الأسلوب نعالج المعلومات المستقاة من الكون لكى نخلق واقعنا، ونستطيع أن نفكر فى الكون كمنطاد هائل، يحوي بداخله منطادا أصغر، هو واقعنا، فواقعنا مبنى على معرفتنا بالكون من خلال قوانين ندركه بها. وكلما ارتقى فهمنا للكون عن طريق الحدس والتفنيد وتطور قوانيننا، كلما تمدد المنطاد الصغير إلى أن يملأ المنطاد الكبير. فهل الوتيرة التى يُبقي بها الكون علينا مندهشين، أسرع من الوتيرة التى نستطيع بها تطوير واقعنا ؟ وبعبارة أخرى، هل سيُقدّر لنا يوما ما أن نستوعب كوننا بأسره؟

ها هنا يأتى منطق بوبر ليعيننا. إن نفس منطق الحدس والتفنيد وهو الأساس فى كيفية فهمنا للواقع، يخبرنا أننا لا نستطيع الإجابة على هذا السؤال. فإذا ما عرفنا كوننا حق المعرفة، ولم يعد فيه ما يدهشنا، عندها فقط سيتوقف البحث عن نظريات فيزيائية لتحل محل تلك التى لدينا حاليا، ونثق ثقة تامة أننا فى يوم ما سنتمكن من استيعاب كوننا بأسره. ولكن، كيف تعرف يا ترى أنه ما من حدث جديد بالكون نعود به للاندهاش، ويتسبب فى تغييرنا وجهة نظرنا إزاء الواقع ؟ الإجابة هى : ليس بإمكاننا، فنحن ببساطة لا ندري ما إذا كنا سندهش يوما ما. وذلك هو المنتهى الأقصى "لمجهول المجهول". وحتى رغم استحالة معرفة ما إذا كنا سنعرف كل شيء، فليس هذا بمانعنا

من معرفة كم هناك كى نعرفه فى ظل معارفنا الراهنة. إذن.. ما حجم المعلومات الموجودة بالكون ؟ ومن أين عسانا نبدأ فى مثل هذه الحسابات العبثية ؟ من الطريف أننا لسنا أول من تناول هذه المسألة، فثمة عقول عظيمة قبلنا تصارعت مع هذا السؤال.

وأرشميدس السيراكيوزى Archimedes of Syracuse (من حوالى ٢٨٧-٢١٢ ق.م) هو صاحب واحد من أعظم عقول البشر عبر التاريخ، إذ ضرب بسهم وافر فى علم الفلك، والرياضيات، والهندسة، والفلسفة. وقد حظى فى زمانه بسمعة فذة ليس لألمعيته فى النظريات فحسب، بل وأيضا فى الشئون العملية. وفى الواقع كانت بلاده تفيد بانتظام من أفكاره الفذة، وبصفة خاصة حين تعرض مشكلة مستعصية لا يوجد من يحلها سواه. ففى إحدى الروايات حينما تعرضت سيراكيوز لعدوان من سفن حربية، تفتق ذهنه عن فكرة تسليط أشعة الشمس عليها باستخدام مرايا مقوسة ضخمة بحيث تحترق أشرعتها قبل رسوّها. وتقول القصص الشعبية إن هذه كانت واحدة من مرات عديدة أنقذ فيها مدينته. ومثلما كانت حياة أرشميدس سعيا إلى العلم، كذلك كان موته، فقد نسب إليه أن آخر كلمات نطق بها كانت "لا تعبث بدوائرى" فلقد فاه بهذه الجملة إلى أحد الجنود الذى جاءه أصلا ليستدعيه، بيد أن أرشميدس أبدى لا مبالاة تامة بمهمة الجندى، بل ركز كل اهتمامه فى عمله، فكانت النتيجة أن قتل قتلا عنيفا، وختمت حياته المشهودة بنهاية مأساوية.

كان أحد أبحاثه بتكليف من ملك سيراكيوز جيلوس الثانى، وهو البحث الذى تمخض عمّا يُعد أول ورقة بحثية على الإطلاق. كانت المهمة تتلخص فى حساب عدد حبيبات الرمل التى من شأنها أن تملأ الكون، وهى مهمة ليست من النوع الذى يعهد به إلى أى رجل معتاد. ولا نعرف على وجه التحديد لأى غرض كان الملك جيلوس الثانى سيستعمل ذلك، وما إذا كان استعمله على وجه الإطلاق أم أنها كانت محض نزوة فكرية.

كانت حبيبات الرمال هى أضأل الأشياء المعروفة آنذاك، لذا كان طبيعيا أن تصاغ فى الأسئلة عن الحجوم عدد حبات الرمال. وتمشيًا مع نموذج أريستارخوس

Aristarchus الساموسى (حوالى ٣١٠-٢٣٠ ق.م) الذى وضع الشمس فيه بمركز المنظومة الشمسية، فسّر أرشميدس بالمنطق أن الكون ذو هيئة كروية وأن النسبة بين قطر الكون إلى قطر مدار الأرض حول الشمس مساوية للنسبة ما بين قطر مدار الأرض حول الشمس وقطر الأرض نفسها. ولعلك ترى كيف أن مثل هذه الحسابات ليست فى متناول كل شخص. ولكى يحصل على أعلى حد من التقديرات غالى أرشميدس فى بياناته.

بادئ ذى بدء ولكى يشرع فى وصف أعداد النسب الجبارة التى احتاجها كان عليه أولا أن يبسّط نظام الأعداد الذى كان مستعملا لدى الإغريق. ومن الناحية العملية، لم يكن لديهم بالمرة - حتى ذلك الوقت - طريقة يتوسلون بها إلى تلك الأعداد بالغة الضخامة، ولكنه كان محتاجا لذلك. وعلى سبيل المثال، أدخل أرشميدس مصطلح "الحشد myriad" كوسيلة للتعبير عن العدد المعروف لنا الآن بالعشرة آلاف (١٠٠٠٠)، وبالتالي فإن "حشد الحشد" يعنى ١٠٠٠٠ مضروبة فى ١٠٠٠٠ أى مائة مليون، وهلم جرا. على كل حال فقد جاءت الصعوبة الحقيقية حين كان عليه أن يفترض حجما للكون، مع معلوماته المحدودة بالفلك (بمقاييسنا الراهنة). وقد قاده تفكيره المنطقى إلى ما يلى :

١ - إن محيط الأرض ليس أكبر من ٣٠٠ حشد من الاستاديا[1] أى نحو ٥٠٠٠٠ كيلو متر، وهو رقم جدّ قريب من محيطها الحقيقى.

٢ - ليس القمر بأكبر من الأرض (هو فى الواقع أصغر كثيراً) ولا يزيد قطر الشمس عن قطر القمر بأكثر من ٣٠ مثلا (وهنا تقدير مبالغ فى صغره وبعيد عن الواقع).

٣ - إن الزاوية التى يحصرها قرص الشمس - وكما تشاهد من الأرض - تزيد قليلا عن نصف درجة (وهذا تقدير صائب وطيب) .

---

(١) كان الاستاد هو وحدة قياس المسافات المعيارية لدى الإغريق ويساوي طول المضمار الذى كانت تجرى عليه المسابقات الأولمبية (كان طول الاستاد الأوليمبي نحو ١٨٥ مترًا) . (المترجم)

وتأسيسا على هذه الافتراضات، حسب أرشميدس أن قطر الكون لا يربو على عشرة مرفوعة للأس ١٤ (ستاديا) (وهو ما يعادل بمصطلحاتنا العصرية سنتين ضوئيتين) وأنه يحتاج إلى مالا يزيد عن ١٠^٦٣ (أى واحد إلى يمينه ٦٣ صفرا) حبة رمل لملئه. وطبقا لتقديرات أرشميدس، لو اعتبرت كل نقطة فى الفضاء بمثابة شذرة من المعلومات، أى أنها بمصطلح المعلومات إما أن تحتوى على حبة رمل أو لا تحتوى، فإن عدد الشذرات قياسا على ذلك هو ٢ مرفوعة للأس ١٠^٦٣، وهو رقم خارق، وسنقارنه فيما بعد بالرقم المناظر الذى تم تقديره بعد نحو ٢٠٠٠ سنة من محاولة أرشميدس الأولى هذه.

وبطبيعة الحال، لم يتوفر لدى أرشميدس البتة مستوى لفهم العالم كالذى لدينا الآن. ومن ثم فإن السؤال : إلى أى مدى ياترى يمكننا أن نكون نحن أكثر دقة بعد فارق زمنى قدره ألفا سنة؟

فى غضون آخر ألفى سنة شاهدنا كيف تفعّلت طريقة بوبر لتعمل دون كلل لمنحنا تقريبات أفضل وأفضل للواقع. ومن شأن العلماء أن يخلصوا إلى تخمينات حول كيفية توصيف عناصر الواقع بأقصر وأبسط السبل، ومن ثمّ أن يقوموا بأرصادهم وتجاربهم ليختبروا نماذجهم أى بالحدس ثم التفنيد.

ومع تفنيد (رفض) النماذج، تدخل دائرة الضوء معلومات أو فهم أحدث وتُنبذ النماذج القديمة، ومن بين رمادها تبزغ نماذج حديثة لتحل محلها. ولقد كنا ننظر فيما سبق وحتى الآن إلى الواقع من جوانبه البيولوجية والحاسوبية والاجتماعية والاقتصادية. وما قد شاهدناه هو أن المعلومات طريق طبيعية نوحّد من خلالها هذه الخطوط التى تبدو مختلفة. إن طبيعة معالجة المعلومات - وهى جوهر المسائل التى طرحناها عبر الكتاب - تعتمد بالكلية على قوانين الفيزياء. وعلى ذلك فلكى نحسب حجم المعلومات فى الكون فمن الطبيعى أن نركن إلى أفضل تفهم للواقع حتى وقتنا الرهن.

إن النظريتين اللتين توجزان أفضل فهم للواقع حاليا هما فيزياء الكم والتثاقل. وهناك بطبيعة الحال نظريات أُخَر، بيولوجية واجتماعية واقتصادية وغيرها (وكل منها

تزعم شرعيتها). ولقد أفسحنا لها جميعًا مجالات متساوية فى قصة كالفينو[١].
على أية حال، فعموما ما ينظر إلى نظريتى الكم والتثاقل على أنهما أفضل وصف أساسى متاح لدينا. وبنفس الطريقة التى نظر بها كولموجوروف لمحتوى المعلومات، أو مدى تعقد رسالة بدلالة أقصر برنامج يستعمل لوصفها، ننظر نحن حاليا لمحتوى معلومات الواقع بمعيار فيزيائيات الكم والتثاقل، فهما أقصر برامجنا المستخدمة لوصف الواقع.

لقد سبق أن رأينا فى الباب العاشر كيف نستطيع فهم نظرية الكم بدلالة المعلومات، فهل بمقدورنا الآن أن نفعل المثل مع التثاقل؟

يتمايز التثاقل كثيرا عن نظرية الكم، ففى حين يمكن استشعار تأثيرات نظرية الكم على المستويين المجهرى والعيانى، مع قلة فى وضوح هذه التأثيرات مع الأجسام الكبيرة، يتخذ التثاقل الجانب المعاكس، فتأثيره هو الذى يسود مع الأجسام الضخمة (الكواكب مثلا) ويضعف تأثيره على الأجسام المجهرية. فما من تجربة – فى الوقت الراهن – يمكنها استشعار التثاقل بين ذرتين، مهما قلت المسافة بينهما.

قد تبدو هاتان النظريتان على طرفى نقيض، ولكنهما فى واقع الأمر مرتبطتان لحد التشابك. ولطالما جاهد العلماء للعثور على نظرية مفردة موحدة تصل فيزياء الكم بالتثاقل وكأن هذا كان للفيزياء بمثابة البحث عن (الكأس المقدسة). وطالما مثل ذلك شوكة فى جانب علم الفيزياء تسبب له نزيفا مؤرقا. وسأناقش – قدر طاقتى – كيف يمكن توصيف التثاقل كأحد تداعيات المعلومات الكمومية (وسأطرح رؤية متطرفة يدور حولها جدل كثير). وأنا أعتقد أن ذلك سيكون أقوى أدلتى حتى الآن على أن المعلومات الكمومية تمثل حجر الزاوية فى وصف الواقع.

---

(١) يرجى الرجوع للباب الثانى. (المترجم)

الرؤية الحديثة للتثاقل – ومن خلال نظرية النسبية العامة لأينشتاين – هى أنه بمثابة (تقوس أو انحناء) فى المكان والزمان، وبلغة حديثنا اليومية التى قد تكون أكثر اعتيادًا عليها، قوة تجاذب كونية، مثلما تلقي بكرة فى الهواء عاليا فتهوي عائدة. ورؤية أينشتاين هى الأعم والأدق فى وصف التثاقل. ووفقا لهذه الرؤية لا ينفصل الزمان عن المكان، وانحناء أحدهما مرتبط بانحناء الآخر. ولتقريب تصور ذلك تخيل مثالا بسيطا يمثل فيه فراشك المتصل الزمانى – المكانى. إن الأشياء الموضوعة فوق الفراش تترك أثرا بفعل ضغطها على سطحه. فإذا وضعت فوق الفراش كرة قدم فربما تترك ارتخاءً طفيفا فيه، أما إذا ضغطت أنت على الفراش فإن الارتخاء يكون أكبر. وإذا ما جلست على الفراش ووضعت الكرة على مقربة منك بما يكفي فإنها ستنجذب نحوك بفعل الارتخاء الذى أحدثته. وبنفس الطريقة تماما تتجاذب الأجسام فى المتصل الزمانى – المكانى – (الزمكان)[1]، إذ أنها تخلق انحناءً فى (نسيجه) ما يلبث أن ينتشر ويُتبادل التأثير بعين الأجسام. وفهم انحناء الزمكان (أو ارتخاء فراشك حين تجلس فوقه) هو المفتاح فى فهم تأثيرات التثاقل.

يعني أى انحناء فى الزمكان بالضرورة أن المسافات وكذلك المدد الزمنية تصبح كلها معتمدة على كتلة الجسم المتسبب فى انحناء الزمكان. فعلى سبيل المثال، يجري الزمن بالنسبة لشخص أقرب إلى كوكب الأرض، أسرع من مروره بالنسبة لشخص أبعد عنها (بافتراض أن هذا الشخص ليس قريبا من جرم آخر ذى كتلة كبيرة) لأن الشخص الأقرب للأرض أكثر تأثرا بشد الأرض الجذبوى، وبعبارة أخرى يزداد انحناء الزمكان بازدياد القرب من الأرض. وحيث إننا نبغي تفسير التثاقل بدلالة المعلومات الكمومية، فالسؤال هو : ما هى الصلة بين الشكل الهندسى للانحناء أو التقوس ومفهوم المعلومات (أم الإنتروبيا ؟) لفرط الدهشة تكمن الإجابة فى سمة التقلبات المفاجئة التى لاقيناها فى الباب السابق : المعلومات الكمومية المتبادلة.

---

(١) نحت لفظ الزمكان من كلمتى الزمان والمكان ليعبر عن المفهوم الذى يجمعهما معًا، ويدمج الزمان كبعد رابع مع الأبعاد المكانية الثلاثة، وهو المفهوم الذى استخدمه أينشتاين فى نظرية النسبية. (المترجم)

لقد سبق أن قابلنا مفهوم الإنتروبيا فى العديد من الأبواب، وهو مفهوم مرادف لمحتوى المعلومات فى رسالة أو منظومة. وكلما ارتفعت إنتروبيا المنظومة كلما زاد حجم المعلومات التى تحملها، وقد استعملنا الإنتروبيا فى الجزء الأول من الكتاب لأغراض متنوعة، فهى تعبر عن سعة قناة الاتصال فى صورة كمية، وعن مدى تشوش (فوضى) أية منظومة فيزيائية، والربح فى رهان معبرا عنه بمقدار المخاطرة المقدم عليها، والتشابكية فى علاقات المجتمع. أما لأغراض المناقشة التالية فعلينا التفكير فى الإنتروبيا بمفهومها الفيزيائى أى التعبير عن مقدار الشواش فى المنظومات الفيزيائية بصورة كمية.

وهناك علاقة طريفة بين درجة اللايقين داخل منظومة بعينها - مقيسة بالإنتروبيا - وبين حجم المنظومة. هب أننا ننظر إلى جسم محتوى داخل تخوم معينة، فعلى أى درجة من التعقد نتوقع أن نراه ؟ ستكون الإجابة الطبيعية : إن إنتروبيا الجسم تتوقف على حيزه، وعلى وجه الخصوص حجمه. فلنقل إن جزيئا ما يحتوى على مليون ذرة مرتبة فى شكل كرة، فإذا كان لكل ذرة كمية إنتروبيا مرتبطة بها فمن الطبيعى أن نتوقع أن تكون الإنتروبيا الكلية حاصل ضرب عدد الذرات فى إنتروبيا كل ذرة، ومن هنا فالإنتروبيا الكلية تصلح مقياسا لحجم الجزىء.

ومما يثير الشغف، أنه لدى درجات الحرارة المنخفضة (كما هو حال الكون الآن) تتناسب الإنتروبيا عادة مع مساحة سطح الجسم لا حجمه (وكما نعلم من مبادئ الرياضيات أن ما يحتويه سطح الجسم بالضرورة دائما ما يكون أصغر مما يحتويه حجمه). فإذا ما افترضت جزيئا ذا شكل كروى، فحجمه مكون من كل الذرات التى على سطحه مضافا إليه عدد الذرات بداخله. لذا، فسؤالنا الآن : ما هو الحد الأقصى من الإنتروبيا لجزىء كروى الشكل ؟ قد نقول إنه متناسب مع عدد الذرات الكلى فى الكرة (أى حجمها)، إذ إن على كل ذرة - مستقلة - أن تسهم فى مقدار اللايقين الإجمالى. على أية حال، ومما يثير العجب ما تخبرنا به نظرية الكم من أن الإنتروبيا تتناسب بالفعل مع العدد الكلى لذرات السطح (أى إن النسبة أقل بكثير).

كيف إذن يوجد هذا الفرق بين ما يبدو منطقيا وما تنبئنا به نظرية الكم؟ لنتدبر هذا علينا تأمل نظرية الكم مرة أخرى وبصفة خاصة طبيعة تبادل المعلومات الكمومى. فلنستحضر أن المعلومات الكمومية المتبادلة هي صورة من علاقة فائقة بين جسيمات مختلفة وأن هذه العلاقة الفائقة أساسية في الفرق ما بين معالجة المعلومات التقليدية والكمومية (مثلما نشاهد على سبيل المثال فى الحوسبة الكمومية).

افترض أننا شطرنا مجمل الكون إلى قسمين، أحدهما المنظومة كالجزىء المذكور سابقا، والباقي هو كل شيء خارج الجزئ. إن تبادل المعلومات الكمومى بين الجزىء والباقى يعادل – ببساطة – إنتروبيا الجزىء. غير أن تبادل المعلومات الكمومى ليس بالمرة خاصية للجزىء، بل يمكن الإشارة إليه كخاصية مشتركة فقط، أى كعلاقة كمومية بين الجسيمات. وفى هذه الحالة هو خاصية مشتركة بين الجزىء وبقية الكون، ويتبع ذلك منطقيا أن درجة تبادل المعلومات الكمومية بين هذين يجب أن تتناسب مع شيء ما مشترك بينهما، وهو فى هذه الحالة الحد الفاصل بينهما، أى سطح الجزىء.

وهى نتيجة عميقة الدلالة، فنحن نفكر فى الإنتروبيا كمحتوى الجسيم من معلومات، ولكن الحقيقة أن محتوى المعلومات ليس داخل الجسيم وإنما يقع على سطحه، وهى حقيقة مثيرة للعجب على أقل تقدير. وما يعنيه ذلك هو أن محتوى المعلومات لأى شيء لا يسكن فى الشيء نفسه، ولكنه خاصية لها علاقة بالجسم وصلته ببقية الكون.

ويفضي هذا إلى نتيجة مهمة أخرى، وهى فى الحقيقة إمكانية سنستكشفها فيما بعد وفى نطاق الشكل الخارجي، هناك للكون كامل الإمكانية أن يكون محتواه من المعلومات صفرا، فى حين أن أجزاءً فرعية منه بها بعض المعلومات. والكون (بحكم التعريف) غير مرتبط بأى شيء خارجه. على أية حال، فهناك أجزاء بالكون مرتبطة ببعضها، وما أن نشطر الكون إلى شطرين متمايزين (أو أكثر) حتى نشرع فى توليد المعلومات، وهذه المعلومات تعادل مساحة السطح الفاصل، لا حجم الشطرين. وفعل التقسيم ذاته وما يظهر بسطح الانفصال من فجوات يزيد – بالضرورة من المعلومات مع إيغالك فى قطع أية أجزاء.

ويمكننا تمثيل هذه الخلاصة فى شكل تصويرى كما يلى : تخيل أن الذرات داخل الجزىء مرتبطة بذرات الكون عن طريق سلسلة من الشرائط وعدد الشرائط التى يمكننا عن طريقها الربط بالكون تحدّه مساحة الجزىء (أى عدد الشرائط التى يمكننا الحصول عليها خلال سطح الجزىء، حيث أن له حيزا محدودا). والمعلومات المشتركة بين الجزىء والكون يمكن اعتبارها فى تناسب مع عدد الشرائط التى تربط ما بين الاثنين. ومن المنطقى أن يتناسب حجم المعلومات مع مساحة سطح الجزىء.

وقد اقترح الفيزيائى ليونارد سوسكيند Leonard Susskind أن يسمى هذه العلاقة بين الإنتروبيا والمساحة بالمبدأ الهولو جرافى (أى التصوير التجسيمى). وقد كانت الهولوجرافيا تقليديًا جزءًا من الضوئيات، وتعني إلى أى مدى يتم تكويد الصور ثلاثية الأبعاد بأمانة ودقة على فيلم فوتوغرافى ثنائى الأبعاد. ويتم ذلك نمطيا بإضاءة الجسم بأشعة الليزر التى تنعكس على سطح الجسم، ويسجل هذا الانعكاس على اللوح الفوتوغرافى. وعندما تُضاء الشريحة فيما بعد، تظهر صورة ثلاثية الأبعاد للجسم حيث كان الجسم الحقيقى موجودا ولعل هذه الظاهرة مألوفة لدى القارئ من كثرة استعمالها بالمجلات والملصقات ولعب الأطفال وأفلام الخيال العلمى.

وقد ابتكر الهولوجرافيا البصرية دينيس جابور Denis Gábor فى عقد الستينيات فى أثناء عمله فى مختبرات الكلية الملكية بلندن (وقد صار أحدها مكتبا لي بعد ذلك بأربعين سنة). ولقد فاز بجائزة نوبل لقاء أفكاره فى ١٩٧١ (وهى للطرافة السنة التى وُلدتُ فيها). ولقد استخدم الهولوجرافيا فى تركيب بديل ضوئى لشبح ماكسويل (وهى فكرة كانت محل بحث لي فى دراستي للدكتوراه). كانت المفاجأة الكبرى فى اكتشافه أنه بيّن أن بعدين اثنين كافيان لتخزين كل المعلومات عن مجسم ثلاثى الأبعاد، وهو ما استحق عليه جائزة نوبل (ولكم آسف، فرغم تفكيرى العميق، فإنه لا يوجد لسوء الحظ رابطة بيننا بهذا الشأن).

ويسهل عليك أن ترى كيف تُسجل صورة ذات بعدين، ولكن من أين يأتي البعد الثالث؟ إنه نفس هذا البعد الثالث الذى يتيح لنا أن نشاهد صورة مسطحة فى ثلاثة أبعاد. وتكمن الإجابة على ذلك فى خاصية الضوء المعروفة باسم "التداخل" وإذا ما عدنا أدراجنا إلى التجهيز للتجربة، فإن بالضوء ساعة ميقاتية داخلية، وحينما يتداخل الضوء المنعكس من الجسم مع الضوء الساقط رأسا على الفيلم الفوتوغرافى ثنائى الأبعاد، يتولد نمط تداخل، حيث يمثل زمن الساعة الميقاتية، البعد الثالث. ويعني ذلك أنه حينما تنظر إلى صورة ضوئية فإنك ترى الصورة القياسية ذات البعدين، على أنك ترى بالمثل الضوء المنعكس إليك فى توقيتين مختلفين اختلافًا يسيرًا، وهذا ما يمنحك كيفية إدراك الصورة كما لو كانت ثلاثية الأبعاد.

وقد تطرق سوسكيند إلى أن الدهشة لا يجب أن تستولى علينا لأن المعلومات (أو الإنتروبيا) تتناسب مع مساحة السطح، بل الأولى بنا أن نرقى بهذا إلى مرتبة القانون. وهو يعنى بهذا أن ذلك القانون لابد أن يكون صحيحا لأى شىء فى الكون (أى شىء يحمل طاقة، كالمادة أو الضوء) وبالإضافة إلى ذلك، فالخاصية الجوهرية التى تكمن خلف ذلك هى المعلومات الكمومية المتبادلة والتى نراها بين أى شىء على ناحية من الجسم وأى شئ على ناحيته الأخرى. فلدينا الآن كل الأجزاء اللازمة كى نشتق بالمنطق مفهوم التثاقل.

تصف معادلة أينشتاين للنسبية العامة تأثير الطاقة / الكتلة على البناء الهندسى للمتصل الزمانى – المكانى (الزمكان) رباعى الأبعاد. فتقول معادلته – التى أعاد صياغتها جون هويلر – : "إن المادة تخبر الزمكان كيف يتقوس، فى حين أن الزمكان – وهو متقوس – يعطى المادة التعليمات كيف تتحرك (فالأرض مثلا تدور حول الشمس لأن الشمس تُقوّس الزمكان تقوّسا كبيرًا). فهل للعلاقة بين الطاقة والانحناء التى توجز مفهوم التثاقل أن تُستقى من نظرية المعلومات الكمومية؟

لقد أدلى تيد جاكوبسون Ted Jacobson فى منتصف التسعينيات بمقولة عبقرية تعزز الإجابة "بأجل". ولدينا الآن كل المكونات اللازمة لنسترجعها مجددا. فحتى الآن

ناقشنا كيف أن إنتروبيا الديناميكا الحرارية تناسب شكل المنظومة الهندسي. ومن المعروف جيدا فى الديناميكا الحرارية أن حاصل ضرب إنتروبيا المنظومة فى درجة حرارتها هو نفسه طاقة المنظومة. ومن ثم فالكتلة الكبيرة التى تمثل طاقة أكبر (تأسيسا على التكافؤ بين الكتلة والطاقة) تستوجب انحناءً أكبر فى الزمكان.

وتصبح المقولة البسيطة عن حفظ الطاقة بين الإنتروبيا والطاقة هى معادلة أينشتاين للتثاقل التى تربط الكتلة بالانحناء. وفى هذا الحالة فالإنتروبيا تلخص الشكل الهندسي. وبناءً على ذلك فالجسم الأكبر كتلة – وفقا للديناميكا الحرارية ينتج إنتروبيا أكثر. وعلى كل حال فقد رأينا أن الإنتروبيا مرتبطة أيضا بمساحة السطح المحيط بالكتلة وفقا للقاعدة الهولوجرافية التى ناقشناها للتو. ومن هنا فكلما زادت كتلة الجسم كلما زاد الارتخاء فى (نسيج) المنطقة المحيطة.

ومما يعيننا كثيرا فى تصور ذلك هذا المثال : تخيّل الزمكان فارغا من الكتلة والطاقة (أى كونا خاويا)، واشطره إلى شطرين بتسليط مستوى من الضوء رأسا على منتصفه (أيا كان ما يعينه هذا فى كون خاوٍ) وهذا الضوء غير متأثر بأى شىء آخر – نظرًا لخواء الكون. والآن تخيل إدخال جسم كثيف فى أحد الشطرين (الكثافة هنا تعني كتلة ضخمة). فمن ناحية الديناميكا الحرارية سيغير ذلك من الإنتروبيا، والتى ستؤثر – طبقا لقواعد الهولوجرافيا – فى المسافة التى يذرعها الضوء، الذى عليه أن يتقوس الآن ليأخذ فى الحسبان التغير فى الشكل الهندسي. وقد كان ذلك فى الحقيقة أول اختبار للنسبية العامة قام به آرثر إدينجتون- Arthur Eddington عام ١٩١٩، فصدق على أن التغير الظاهرى فى موضع نجم ما جاء بالضبط متوافقا مع ما تنبأ به أينشتاين فى نسبيته العامة. فقد انحنى الضوء الوافد من النجم فى طريقه إلينا بتأثير شد الشمس الجذبوى، وهكذا ظهر النجم وكأنه تزحزح عن موضعه الأصلى.

ومن الطريف أن الفكرة ذاتها يمكن تطبيقها لاستشعار وجود الأجرام الكثيفة القاتمة كالثقوب السوداء. ولكن كيف تشاهد ثقبا أسود وهو – بمقتضى التعريف –

حالك السواد لا يشع أى ضوء ؟ إن للثقب الأسود على كل حال قوة جاذبية هائلة ويمكننا التوسل بهذه الحقيقة لمشاهدته.

وفى حين ليس بمقدورنا رصد الثقب الأسود مباشرة فيمكننا رصد تأثير قوته الجذبوية للمادة وبصفة خاصة الضوء الذى يحفّ به. فضوء أى نجم يقع رأسا خلف ثقب أسود بالذات بدلا من أن ينتشر على النحو المألوف، يتركز بشدة إذ تحبسه قوة الشد الجذبوى للثقب الأسود. ونحن نرصد من على سطح الأرض كيف يلمع الضوء الصادر من النجم بقوة أكبر من لمعانه المعتاد قبل أن يتطامن ثانية ويعود إلى مستوى لمعانه المعتاد. ويمكننا تفسير هذا التغير فى شدة الاستضاءة بمرور الثقب الأسود أمام النجم. والمصطلح العلمى لهذا التأثير يعرف باسم ظاهرة العدسة المحدبة(١).

والمعلومات- مقيسة بمعيار الإنتروبيا - نراها اليوم تعزز كلا من ميكانيكا الكم والتثاقل.

فالإنتروبيا فى ميكانيكا الكم محددة، بيد أن بوسعنا دومًا توليد المزيد منها (وهو ما تتطلبه العشوائية).

وهذه الإنتروبيا الكمومية يتناسب مقدارها مع المساحة. وهذه الحقيقة إذا ما قرنت بالقانون الأول للديناميكا الحرارية الذى ينص على ثبات الطاقة تمكننا من استنتاج معادلات التثاقل. ومن الطريف ملاحظة أن فيزياء الكم والتثاقل كثيرا ما يُنظر إليهما كطرفى نقيض. على أية حال فهذه المناقشة - بعيدا عن هذا - تقول بأن بينهما لحُمة وثيقة (ولهذا السبب أحدث بحث جاكوبسون جدلا واسعا).

---

(١) Gravitational Lensing تعنى ظاهرة العدسة المحدبة الجذبوية ظهور صورة مزدوجة لجرم سماوى بسبب وجود كتلة هائلة بيننا وبينه تحجب وصول ضوئه إلينا مباشرة. ونتيجة لانحراف الضوء عند مروره قرب حافتى هذا الحائل من أثر المجال الجذبوى الهائل فإن الضوء ينكسر نحو الداخل، أى إن جاذبية الحائل تعمل عمل العدسة المحدبة التى تكسر مسار أشعة الضوء تجمعها. (المترجم)

ولقد سبق أن ذكرنا أن بعض جوانب هذه المناقشة ذات طبيعة تأملية. ومهما يكن الأمر فما يمكننا استنتاجه من الموضوع كله هو أن التثاقل لا يضيف أى جديد إلى طبيعة معالجة المعلومات. فكل الجوانب اللازمة للنظرية حاضرة من خلال تطبيق مبادئ الكموم. وحتى إذا كانت تفصيلات المناقشة عرضة للخطأ، فإن خواص المعلومات الكمومية تبقى كما هى، بالتثاقل أو بدون التثاقل.

وبأخذنا هذا فى الاعتبار، فلنعد إلى السؤال عن الحجم الأقصى من المعلومات التى يمكن إدغامها فى الكون برمته وكما نعهده. لقد قلنا سابقا إن المعلومات متناسبة مع المساحة ومستوى الدقة فى هذا التناسب قد قدرها الفيزيائى الإسرائيلى جاكوب بيكينشتاين Jacof Bekenstein. والعلاقة التى توصل لها، والمعرفة باسم "تخوم بيكينشتاين" تنص ببساطة على ما يلى : عدد الشذرات التى يمكن إدغامها فى أى منظومة تصل – كحد أقصى – إلى $١٠^{٤٤}$ شذرة معلومات مضروبة فى كتلة المنظومة مقدرة بالكيلو جرامات وأقصى طول لها مقدرا بالمتر (ومربع هذا الطول يمثل مساحة المنظومة).

وكملحوظة جانبية نلاحظ أن أعمال بيكينشتاين عن إنتروبيا الثقب الأسود قد ألهمت الفيزيائى البريطانى "ستيفن هوكنج" (١) أن يستنتج أن الثقب الأسود – فى الحساب الختامى – ليس بالأسود كما يتراءى لنا، فهو يشع ما يطلق عليه إشعاع هوكنج الذى يعود أصله النهائى إلى الكموم.

ومن دواعى العجب أن ما تحتاج إليه لحساب عمق السعة المعلوماتية لجسم ما، من بين خواصه الممكنة اللانهائية هو شيئان فقط : المساحة والكتلة. وكتطبيق عملى، يتيح هذا لنا وبسهولة أن نحسب السعة الاستيعابية من المعلومات الخاصة بأذهاننا. فلنقل إن قطر الرأس فى المتوسط عشرون سنتيمترا، ووزنه خمسة كيلو جرامات،

(١) Stephen Hawking ستيفن كونج : فيزيائى بريطانى شهير ذو إرادة أسطورية، لم تمنعه إصابته بمرض عصبى نادر أقعده وهو فى الحادية والعشرين عن مواصلة بحوثه الرائدة فى الفيزياء والفلك والتى مازال يثابر عليها بعد أن جاوز السبعين. (المترجم)

فهذا يعنى أن الرأس البشرى النمطى يسعه تخزين ١٠ مرفوعة للأس ١٤ شذرة معلومات، أى أننا فى حاجة إلى ١٠^٣٠ حاسوبا لنحصل على السعة المناظرة للذهن البشرى لاستيعاب المعلومات.

ومهمتنا الآن هى تطبيق "تخوم بيكينشتاين" كى نحسب عدد الشذرات الكلى بالكون، وهو ما كان - إن تتذكر - هدفنا الأصلى. لقد أعطانا الفلكيون بالفعل تقديراً تقريبيًا لسعة الكون ووزنه ! إذ يبلغ نحو ١٥ بليون سنة ضوئية قطرا وحوالى ١٠ مرفوعة للأس ٤٢ كيلو جرام وزنا (ومن المضحك أن العدد يتطابق مع الاثنين وأربعين المأخوذة من كوميديا "دليل السفر المجانى عبر المجرة"[١]. فإذا ما أدخلت هذه المعلومات فى معادلة بيكينشتاين، حصلت على سعة للكون قدرها ١٠^١٠٠ شذرة معلومات وهو عدد يفوق الخيال، وإن لم يكن - فى خاتمة المطاف - لا نهائيا. (وفى الواقع يجادل الرياضيون فى أن هذا العدد أقرب إلى الصفر منه إلى اللانهاية !) ومما يجدر التنويه به أيضا، أن أرشميدس قد قرر العدد ١٠^٦٣ لعدد حبات الرمل فى الكون. فلو أننا اتخذنا - كما فعلنا فيما سبق - حبة الرمل مناظرا لشذرة المعلومات، فذلك تخمين لا بأس به لتقدير الطاقة الاستيعابية للكون من المعلومات من امرئ كان يعيش منذ أكثر من ألفى عام.

وحيث أننا ناظرنا ما بين الكون والحاسوب الكمومى، فمما يمكن تطبيقه أن نتحدث عن سرعة معالجة "معلومات كوننا". ويمكن تقدير ذلك فى التو من "تخوم بيكينشتاين". فإذا اعتبرت عمر الكون بالثوانى ١٠ مرفوعة للأس ١٧، وأخذت فى الحسبان حقيقة أن الكون ولّد ١٠^١٠٠ شذرة (وهذه هى تقديراتنا الراهنة) فيمكننا القول بأن السعة الكلية لعمليات معالجة المعلومات تصل إلى ١٠^٩٠ (شذرة) فى الثانية [٢] وبمقارنة ذلك ببيانات حاسوب حديث (من طراز Pentium 4 مثلا الذى لا تصل سرعة

(١) اسم كوميديا من نوع الخيال العلمى كانت فى الأصل مسلسلاً إذاعيًا أذيع فى ١٩٧٨ ثم تحولت إلى أفلام ومسلسلات تليفزيونية وألعاب حاسوبية ونالت شهرة واسعة. (المترجم)

(٢) طبقًا لما ورد بالأصل المترجم منه. (المترجم)

معالجته إلى 10^{10} شذرة فى الثانية، بوسعنا أن نجد أننا بحاجة إلى عدد يبلغ 10^{80} من ذلك الحاسوب لمحاكاة الكون ! (أى واحد وإلى يمينه ٨٠ صفرا). ومن هنا، إذا ما أردنا التعويل على حواسيبنا فقط لفهم الكون، لما أمكننا السير بعيدا. وهو إيحاء مدهش إلى مدى قدرة الذهن البشرى.

وعلى سبيل المقارنة، نجد على الطرف الآخر الجسيمات الضئيلة كالذرات والنوى الذرية. فذرة الهيدروجين طبقا لمعادلة بيكينشتاين يمكنها أن تشفّر أربعة ملايين شذرة، ويمكن للبروتون تشفير نحو ٤٠ شذرة فقط (لأنه ببساطة أصغر كثيراً من الذرة نفسها). ولو أننا على مهارة كافية (ونحن الآن جدّ بعيدين عن ذلك) لأمكننا إجراء الحسابات الكمومية باستعمال ذرة هيدروجين واحدة، بوسعها أن تحلل عددا محتويا على ١٠٠٠ خانة عشرية، إلى عوامله الأولية، وهو الأمر الذى يصعب على أى حاسوب حالى. ترى .. إلى أى مدى نثق فى أن عدد الذرات الذى حسبناه هو نفس عدد الشذرات الكلى بالكون ؟ لقد سبق لبوير أن أخبرنا أن بمقدورنا النظر إلى العلم باعتباره آلة تكبس شذرات الكون إلى قوانين، تستعمل بدورها لتخليق الواقع. فكيف إذن عسانا نعرف ما إذا كنا فى الغد سنرصد تجربة من شأنها أن تغير عملية الدمج هذه وتمنحنا قانونا جديدا ؟ والإجابة هى : كلا.. لن نعرف. فلنظرية صمدت لمائتى عام، ثم تم دحضها بتجربة واحدة، تلك بمثابة تذكرة ركوب قياسية لتقدم العلم. ومثلما حلت المعلومات الكمومية محل التقليدية، فمن المرجح أن نتقدم - مستقبلا - صوب ضرب جديد من معالجة المعلومات، مبنى على أساس عناصر إضافية من الواقع نجهلها أو لا نلم بها إلماما شاملا فى عصرنا الحالى.

ترى هل بوسعنا أن ندفع للأمام هذا الأسلوب من الحدس والدحض إلى حده الأقصى؟

هل بمقدورنا أن نقدم وجهة نظر مترابطة عن الواقع، دون حتى أن يتملكنا القلق على الكيفية التى ستكون عليها النظرية الخاتم؟

النقاط المحورية فى الباب الحادى عشر

- إنتروبيا أى منظومة تتناسب مع مسطحها. ويعرف هذا بالمبدأ الهولوجرافى، وهو من تداعيات تبادل المعلومات الكمومى.
- باستخدام المبدأ الهولوجرافى، يمكننا تقدير عدد الشذرات فى الكون، وكذلك عدد الوحدات الابتدائية فى معالجة المعلومات التى به.
- من الطريف أن أرشميدس قد قام بعملية إحصاء مشابهة منذ حوالى ٢٥٠٠ سنة، إذ قدر عدد حبات الرمل بالكون (ولم تكن تقديراته بعيدة تماما).
- قدرة الكون – باعتباره حاسوبا كموميا – لها حدها، وإن كانت تجلّ عن أى تخيل قد يعنّ لنا فى الوقت الحالى. وليس لدينا أدنى فكرة كيف يمكننا استغلالها.

(١٢)

بعيدًا عن الدمار الشامل

الابتداء بشىء ما . والانتهاء بالعدم

إن الرؤية التى يوصي بها هذا الكتاب، هى أن تحت سطح الكثير من جوانب الواقع المختلفة، شكلاً ما من معالجة المعلومات. لقد بدأت نظرية المعلومات بداية بريئة، نتيجة لتساؤل محدد للغاية عُنى به شانون وهو : كيف تصل بطاقة الاتصالات بين شخصين، إلى حدها الأقصى. فبيّن شانون أن كل ما نحتاجه هو أن نربط ما بين الاحتمال والحدث، وعرّف معيارا يتيح لك أن تعبر عن مقدار المعلومات التى يحويها هذا الحدث فى صورة كمية. ومن الطريف أن وجهات نظر شانون قد طبقت بنجاح - بفضل بساطتها وبداهتها - فى مسائل أخرى. فنحن ننظر إلى المعلومات البيولوجية من خلال نظرية شانون كاتصالات عبر الزمن (حيث يهدف الانتخاب الطبيعى إلى نثر محتوى صندوق الجينات فى المستقبل)، على أن الاتصالات والبيولوجيا ليست وحدها التى تحاول الوصول إلى الوضع الأمثل من حيث المعلومات، فالمنظومات الفيزيائية ترتب نفسها لتعظيم الإنتروبيا، ويُعبّر عن هذه الإنتروبيا بصورة كمية كما فى نظرية شانون. ونلتقي نفس الشكل من المعلومات فى الظواهر الأخرى، فالمضاربات المالية هى الأخرى محكومة بذات المفهوم للإنتروبيا، والوصول لأفضل ربح فى المضاربات يماثل الوصول لأفضل سعة لقنوات الاتصال. والمجتمع - فى النظرية الاجتماعية - محكوم بالروابط والصلات داخله، وهذه الروابط بدورها تعبر عنها إنتروبيا شانون بصيغة كمية.

وتحت سطح كل هذه الظواهر كان هناك منطق "بول" حيث تتجلي الأحداث عن نتائج واضحة، إما بنعم أو بلا، بدائرة مغلقة أو مفتوحة، وهكذا. وفي أصدق تصور لنا عن الواقع وهو الذى تتيحه لنا ميكانيكا الكم نعلم أن شذرات المعلومات هى تقريب لمفهوم أدق هو الكيوبات، و الكيوبات - بخلاف الشذرات - يمكن أن تظهر فى حالات متعددة، كأى توافيق بين (نعم) و (لا) أو بين (موصّل) أو (غير موصّل).

وقد امتدت نظرية شانون للمعلومات لتشمل نظرية الكم. والإطار المنبثق منها وهو نظرية المعلومات الكمومية قد أظهر بالفعل عددا من المزايا. وتتجلى القدرة الهائلة لنظرية المعلومات الكمومية فى تأمين السرية العالية لإجراءات نظم التشفير، وفى مستوى جديد من الحوسبة، والنقل الكمومى للأجسام عن بعد وعدد من التطبيقات الأخرى التى لم تكن - من منظور شانون - فى حيز الإمكان. على أية حال، حيث إن نظرية المعلومات الكمومية هى - فى المآل الأخير - امتداد لنظرية شانون للمعلومات، فإن نظرية المعلومات الكمومية تختزل - فى ظل الظروف المناسبة إلى نظرية شانون للمعلومات. كما شاهدنا بالمثل بعض الشواهد المثيرة على أن المنظومات البيولوجية قد تستغل معلومات كمومية فى إجراء بعض العمليات كالتمثيل الضوئى بكفاءة أعلى من أية إمكانية أخرى طبقا لمفهومنا التقليدى عن المعلومات.

إن الهدف الرئيسى من هذا الكتاب، هو كيفية فهم الواقع بدلالة المعلومات. وفى هذا الجانب يصح النظر إلى الكون كحاسوب كمومى، باعتبار أن ذلك هو أدق توصيف نستطيعه. ومن ثم قدّرنا قدرة الكون الإجمالية، وهى ذاكرة قدرها ١٠ مرفوعة للأس ١٠٠ من الشذرات، وبالتقريب ١٠ مرفوعة للأس ٩٠ من الشذرات المعالجة فى الثانية. وقد أمكننا إجراء هذه التقديرات بتقسيم الكون إلى وحدات أصغر فأصغر، ثم الإفادة من حقيقة أن المعلومات المحتواه فى كل من هذه الوحدات تتناسب مع مساحة سطحها.

ولكن من أين تراها تأتى المعلومات ؟ عندما يتواصل شخصان فإن أحدهما ينقل المعلومات للآخر. وتأتى أية معلومات بالمثل فى السياق الاقتصادى أو الاجتماعى من التأثير المتبادل بين البشر.

والمعلومات خلال تبادلها بين البشر وكذلك المنظومات البيولوجية تأتي من الخواص الجزيئية للدنا.

وسلوك الجزيئات محكوم - فى خاتمة المطاف - بقوانين فيزيائيات الكم. وبهذه الطريقة يمكننا اختزال أية معلومات عن الواقع إلى معلومات كمومية، وعلى أية حال فمازلنا نجابه السؤال.. من أين تأتى المعلومات الكمومية؟

نعود الآن إلى فكرة أن الكون برمته ذو طبيعة رقمية وأننا فى حاجة إلى فك شفرته حتى نستطيع ضغط كل المعلومات داخل قوانيننا... القوانين التى يولد منها واقعنا. وحقيقة أن الواقع مشفّر بصورة ما داخل هذه القوانين ليست مبتدعة بحال، فقدامى الإغريق - وكما رأينا بالنسبة لأرشميدس - استوعبوا الكون بذات الأسلوب، كما فعل واحد من العلماء الحقيقيين... جاليليو جاليلى.

وأورد ها هنا جزءا مقتبسا عن جاليليو يعبر بجلاء - عن النظرة القائلة بأن حقائق الكون مصونة فى شفرة داخل الرياضيات : "إن الفلسفة مدوّنة فى هذا السفر الجليل، أعني الكون، الذى ينتصب أمامنا دوما.. نحدّق فيه غير أنه يستعصي على أفهامنا ما لم نتعلم بادئ ذى بدء أن نتفهم اللغة التى دُوّن بها. إنه مسجل بلغة الرياضيات، وشخوصه هى المثلثات والدوائر وغيرها من الأشكال الهندسية، والتى بدونها يستحيل على بنى البشر فهم كلمة واحدة فيه. وبدون ذلك يضل المرء فى تيه من ظلام دامس" .

بيد أننا نبغي الذهاب إلى أبعد من شاعرية جاليليو.. إلى أمرين جوهرين. فنحن نود - أولا - استعمال المعلومات عوضا عن عناصر الأشكال الهندسية، ونريد - ثانيا أن نفسّر كيف تتجلى المعلومات بالكون، فما أن نفك شفرة المعلومات وندغمها داخل قوانين أجيدت صياغتها، حتى نتفهم واقعنا فى ضوء المعلومات المشفّرة فى تلك القوانين، بل ينبغى أن تكون القوانين ذاتها جزءًا مكملا للصورة المتكونة وإلا سنتورط فى سلسلة لا نهائية وحلقة مفرغة. ومن ثمّ يمكن النظر للكون كمعالج معلومات، أو بعبارة أخرى كحاسوب كمومى عملاق.

وهذه الرؤية للكون كحاسوب ليست مستحدثة بحال، وكونراد زيوس Konrad Zuse الرياضى البولندى الشهير والرائد فى العديد من تقنيات فك الشفرات التى استخدمت خلال الحرب العالمية الثانية، كان أول من نظر للكون كحاسوب، ثم تلاه عدد من الباحثين الآخرين، أشهرهم الأمريكيان إد فريدكين Ed Fredkin وتوم توفوللى Tom Toffoli الذى حرر عام ١٩٧٠ عدداً من البحوث فى ذات الموضوع. وما زال عمل فريدكين يقف شامخًا، كرائد للنموذج الرقمى للكون إضافة إلى أعماله الأخرى. غير أن المشكلة هى أن كل هذه النماذج يُنظر فيها للكون كحاسوب تقليدى، فى حين نعلم الآن ضرورة استيعاب الكون كحاسوب كمومى.

وواقعنا يتطور، لأننا نجد – من وقت لآخر – أننا فى حاجة لتدوين جزء من البرنامج الذى يوصّف الواقع. وربما نجد أن جزءًا من البرنامج، المبنى على أساس نموذج بعينه، قد تم تفنيده، أى نجد النموذج – تحت السطح – غير صحيح – ومن ثم يحتاج البرنامج لتحديثه. وتفنيد نموذج وتغيير جزء من البرنامج يلعب – كما رأينا – دوراً مصيريا فى تغيير الواقع نفسه، فالتفنيدات تحمل من المعلومات أكثر مما تحمل عملية التصديق على النموذج.

وهذه التفنيدات تتجلى فى قواعد "الاستبعاد"، والفيزيائيات مليئة بها. ولقد صيغ قانون الديناميكا الحرارية الثانى الذى ألفيناه واحدا من أكثر قوانين الفيزياء شمولية، بحيث يبين استحالة انتقال الحرارة من جسم بارد إلى آخر أسخن منه بدون مؤثر خارجي. ومن هنا، ينص القانون الثاني على أنه بينما لا نشترط ما الذى يمكن أن تؤدى إليه عملية فيزيائية ما، فنحن نعرف يقينا ما الذى لا يمكن أن تؤدى له. وفى حين أننا نعرف "المعروفات المعروفة"، و "المجهولات المعروفة"، فنحن لا نعرف "المجهولات المجهولة". وهو أمر بالغ الأهمية، إذا أنه فى غاية العمومية. ويصدق ذلك بالمثل على نظرية النسبية، فالنسبية تخبرنا بأنه محال عليك أن تنتقل بسرعة تفوق سرعة الضوء.

فإذا ما أتينا إلى ميكانيكا الكم، فإن حديثنا عن هذا الاستبعاد أو الإقصاء يمضي بخيالنا لأقصى حدوده.

وحينما قلنا إن الجسيم - من منظور ميكانيكا الكم - يمكن أن يوجد فى مكانين مختلفين آنيا، فإن هذه الحالة يصعب فهمها بمعيار البديهيات التى نقابلها كل يوم. وفى الحقيقة، إذا استخدمنا طريقة النفى، فنحن مكرهون على أن نقرّ - بمعنى ما - بأنه ليس صحيحا أن يوجد الجسيم فى موضعين آنيا وكذلك ليس صحيحا أن الجسيم ليس فى مكانين فى نفس الوقت. وهكذا فإن الإفادتين "الجسيم موجود فى مكانين آنيا وعكسها" الجسيم غير موجود فى مكانين آنيا "كلتاهما غير صحيحة فكيف يتأتى هذا ؟ ألا يبدو من المحال أن إفادة وعكسها كلتاهما غير صحيحة ؟ وفى حين يلوح للبعض أن فى ذلك ثمة تناقضا، فهو فى نظر " بوهر " يومئ إلى حكمة أبعد غورا، إذ يُنسب إليه أنه قال : "الحقيقة الضحلة هى مقولة عكسها خاطئ، فى حين أن الحقيقة المتعمقة هى مقولة عكسها حقيقة عميقة أيضًا.

ومهما يكن الأمر فنحن فى حاجة حقيقية لتغيير قوانين المنطق المعتاد لنحلّ طلسم الكموم. فما من تناقض هنا، حيث إن الإفادتين تشيران إلى منهجين تجريبيين مختلفين. فعندما نقول إنه ليس صحيحا أن الجسيم موجود فى مكانين آنيا فإن ذلك يشير فى الواقع إلى منهجنا الاستكشافى. فعندما نقيس موضع الجسيم، فإننا نرصده دائما حقيقة فى مكان أو فى مكان آخر ولكن ليس فى كليهما معا. ويؤكد هذا على أن لدينا بالفعل جسيما. وعلى أية حال فحينما لا نقوم بالقياس البتة، وبدلا من هذا نتبادل التأثير مع الجسيم بطريقة لا يتم فيها رصد موقعه، فإن الجسيم يتصرف كما لو كان فى الموضعين فى ذات الوقت. وهكذا فإن تناولين مختلفين للجسيم سيسفران عن سيناريوهين مختلفين لسلوكه. وليس هناك تناقض فعلى فى هذه الحقيقة.

وعلى كل حال فالواقع الذى يبدو لنا، يعتمد على السؤال الذى نطرحه. وبوسعنا أن نجبر الجسيمات على اتباع سلوكيات مختلفة اعتمادا على الخصيصة المعينة التى نقيسها. وكل المعلومات الكمومية فى المآل الأخير معتمدة على السياق. ولم يكن أينشتاين يطمئن لوجهة النظر عن الواقع التى تخبرك - على نحو ما - أنه وليد أرصادنا،

وبالتالى فهو ليس بالمستقل عنا. ومن الطريف أن هناك منهجا لاهوتيا شديد القرب من نظرة "بوبر" الفلسفية إلى العلم ويعرف هذا المنهج "بمنهج النفى Via negativa وقد اعتنقه فى الأصل الآباء الكابادوكيون[1] فى القرن الرابع، وهم الذين شيّدوا كل نظرتهم للعالم على أساس الأسئلة التى لا إجابة لها. فقد كانوا يجاهرون بأنهم، فى حين يؤمنون بالرب، لا يعتقدون أن للرب وجودا ! وهو على ما يتراءى تناقض جلىّ، بيد أنه فى الواقع ليس كذلك.

وفى واقع الأمر فإن "منهج النفى" هذا كان معروفا جيدا فى الشرق، ففى الديانة الهندوسية تترسخ فكرة الاقتراب من الرب من خلال "نيتى Neti"، وهى كلمة سنسكريتية بمعنى "ليس هذا" وهى فكرة موثقة فى تقاليد قديمة عديدة بما فيها عقيدة Advaita Vedanta[2] والتى توصّف الكون كذات عليا مطلقة مفردة غير قابلة للانفصال (براهمان) لا يمكن إدراك ملامحها إلا بمنهج النفى.

كان الآباء الكابادوكيون يعتقدون أن على المرء أن يصف طبيعة الرب بالتركيز على ما هو ليس عليه بأكثر من التركيز على ما الرب عليه. والأساس الرئيسى فى هذا النفى أو اللاهوت الإنكارى، ويسمى أيضا apophatic وتعنى باليونانية "ماليس هو" أو "ماتنكره"، هو أن الله خارج نطاق إدراك الإنسان وخبراته تماما، بحيث أن الأمل الوحيد للاقتراب من طبيعة الإله هو أن تعدّد كل السمات المنفية عنه، وعليه لا يمكننا القول بأن الله موجود، لأن الوجود مفهوم بشرى وبالتالى فما من سبيل لتطبيقه على الإله.

هذه القائمة من الملامح التى ليست فى الرب والتى عددها الآباء الكابادوكيون هى بكل تأكيد استحضار لقوانين الفيزياء وروح العلم العامة. فليس بوسع الفيزيائيين أن يخبروك ما هو الكون حقيقة أو كيف يكون بالضبط سلوكه (وبالتأكيد لا نستطيع أن

---

(١) كبادوكيا أو قبادوقية : اسم مقاطعة فى آسيا الصغرى ومعنى الاسم (أرض الخيول الجميلة). (المترجم)

(٢) مدرسة فلسفية هندوسية. (المترجم)

نقول كيف سيؤول وصفه فى المآل الأخير) ولكن بمقدورنا يقينا أن نقول ما هو ليس عليه. فنحن نعلم أن الأرض لم تخلق منذ أربعة آلاف سنة[1] وإنما قبل ذلك بكثير وإن كنا لا نعرف على وجه اليقين متى. ونحن لا نعرف كيف خُلقت الأرض ولكننا نعرف بالتأكيد أنها لم تظهر بواسطة سلحفاة عملاقة رفعت ظهرها فوق سطح المحيط الكونى (أو أن الأرض لم تتكون قبل الشمس)[2] ونحن بالمثل نعتقد أن قوانين الفيزياء لا تختلف على سطح الأرض عنها فى أى موضع آخر من الكون، رغم أننا لا نعرف القوانين القصوى فى الفيزياء (لعلها قوانين الكموم ولعلها خارج نطاق قوانين الكموم).

والعلم بالمثل لا يستطيع أن يدلنا حقيقة على الأصل الذى يرجع إليه كل شىء، وطريقة بنيانه أقرب إلى أن تنبئ عن الحالة التى (ليس) عليها الكون لا الحالة التى هو عليها. فالعلم على سبيل المثال يحدثنا أننا لا ينبغي أن نفكر فى الأرض كمركز للكون أو أن نفكر فى البشر باعتبارهم حجر الزاوية أو بيت القصيد فى التطور ولكنه لا يحدثنا كيف علينا أن نفكر فى البشر، ولكننا قطعا لا يجب أن نفكر فيهم كنوع يختلف اختلافا أساسيا عن القردة مثلا.

ويصل الآباء الكابادوكيون إلى المعرفة القصوى بالإله بذات الطريقة التى نصل بها إلى الفهم الأقصى للواقع، فيفعلون ذلك عن طريق القول بأن الرب (ليس كذلك)، بينما نتكئ فى الأسلوب العلمى على التخمين والتفنيد وهو ما يدلنا على أن الواقع (ليس كذلك). ورغم أن منهج النفى يُنظر إليه فى الدين باعتباره تصوفا غير رشيد وهذا فى اعتقادى خطأ، فإننا نرى فى الحقيقة أن له أساسا رشيدا له ما يناظره فى المنهج العلمى.

---

(١) يشير المؤلف إلى تقدير لعمر الأرض، كما يستقى من حسابات مبنية على التواريخ الواردة بأسفار العهد القديم من الكتاب المقدس بدءًا من بداية الخليقة ووصولاً لظهور السيد المسيح. (المترجم)

(٢) يشير المؤلف إلى ما ورد بالعهد القديم من الكتاب المقدس (سفر التكوين - الإصحاح الأول) من أن الشمس والنجوم خلقت فى اليوم الرابع بعد خلق الأرض فى اليوم الأول. (المترجم)

وعن طريق منهج النفى هذا فى وصف الواقع، وبفصلنا ما هو غير صحيح عن كل ما سواه، ندمج الواقع فى حزمة من القوانين. ومن ثم نستعمل هذه القوانين باعتبارها صحيحة ما لم يثبت غير ذلك فقوانين الفيزياء هى دمج للواقع، وهى - عند معالجتها فى حاسوب كمومى شامل، تفرز الواقع. بيد أن قوانين الفيزياء المدموجة هذه لا تزال تحتاج هذا الحاسوب الكمومى الشامل لتخرج لنا الواقع. وحيث إننا نحاول تفسير أصل كل شيء، فمن أين يأتي هذا الحاسوب ياترى ؟ بل إن الأمر أكثر درامية من هذا، فلدينا قوانين الطبيعة التى تنتج الواقع عند إعمالها، وعلى ذلك فلابد من وجود حاسوب من قبل ليفعّل تلكم القوانين. وعلى الطرف الآخر فإن أداء هذا الحاسوب لوظائفه يستدعى وجود نوع من القوانين لتوصيفه. فمن إذن أتى أولا : الحاسوب الكمومى أم قوانين الفيزياء ؟ آه - يبدو أننا نواجه قضية من نوع الدجاجة والبيضة وأيهما جاء أولا.

ومهما يكن الأمر فهل يمكن أن تخلق القوانين والحاسوب معا فى ذات الوقت من العدم ؟ يبدو تخيل هذه الإمكانية جمّ الصعوبة، بيد أن محاولات متعددة جرت لتفسير ذلك عبر التاريخ. وواحد من طرق التفكير هذه - وهو لا يبدو لى أنا على الأقل وجيها أو حتى صحيحا من الناحية العلمية - هو المبدأ الإنسانى :

ينص المبدأ الإنسانى على أن قوانين الكون لابد وأن تكون كما هى، فلو أنها كانت مختلفة لما كان بوسعنا أن ندركها ونتحدث عنها. ربما تبدو تلك المقولة لك كالحلقة المفرغة، ولكنها ليست كذلك.

فكل مقولة دائرية - إن لم يكن هناك سواها - صحيحة منطقيا (وإن تكن كذلك لقلة أهميتها، لأن الناس يسلمون جدلا بما يحاولون فيما بعد إثباته، ولتفكر فى المقولة : أنا أحب جينفر لوبيز، لأنها الشخص الأثيرلدى) ولكن المبدأ البشرى قد يثبت خلطه الواضح. فنحن ببساطة لا نعرف ما إذا كانت بعض قوانين أخرى قد لا تؤدي إلى وجود مخلوقات شبيهة بنا، بمقدورها - مثلا - تحصيل العلم واكتشاف قوانين الطبيعة.

وقد قام الفلكى الملكى البريطانى والرئيس الحالى للجمعية الملكية السير مارتن ريز Martin Rees[١] بإدخال تحسين حديث على المبدأ البشرى، ففى رأى ريز - والذى راهن ذات مرة مازحا على صحة رأيه بحياة كلبه - أن كل الأكوان الممكنة موجودة، ونحن نوجد فحسب فى ذلك الفرع منها ذي الظروف المواتية لنا. فدعنا نبتهل - من أجل خاطر كلبه - أن يكون رأيه صحيحاً.

وكما رأينا، فالإجابة الممكنة الثانية هى أن أمرا ما قد خلق القوانين وخلق الحاسوب كبداية، وافترض الفكر التقليدى الإله كخالق أصلى للمعلومات. فيا للأسف، علينا أن نفسر أصل الإله وهو أمر لا يقل فى صعوبته.

ولكن، فلنضرب مثلا بالحاسوب، ففى حواسيبنا يمكننا تصميم عوالم مختلفة وكل لعبة فى الحاسوب هى فى حقيقتها محاكاة لعالم ذى قواعد تختلف عن قواعد عالمنا، وهو ما يضفى على تلكم الألعاب إثارة بل وصعوبة أيضا، وكلما ازدادت الحواسيب وألعابها تعقيدا، كلما ارتقى فن التصوير التجسيدى للمعلومات وكلما صعب التمييز ما بين المحاكاة والواقع (ولنتذكر العرض السينمائى الشبكة The Matrix)[٢] على أية حال، فإننا مازلنا غير قادرين على المضىّ بعيدا عن الاستغناء عن فكرة التعويل على الرب. فالرب فى هذه الحالة هو مصمم برنامج الحاسوب الذى يعطينا كوننا. والعلة فى أن هذه الإجابة لا تشعر العلماء بالراحة هى - وكما فسرت - أنه رغم أنها تهبنا صورة أبهى، فإنها - فقط - تنحي جانبًا التساؤل عن أصل المعلومات. ومن ثمّ فإذا أخبرتنا أننا محاكاة صممها شخص ما، فمن يا ترى خلق ذلكم الشخص وطلب منه عمل هذه المحاكاة؟

(١) Sir Martin Rees سير مارتن ريز : من علماء الكونيات الرواد، شغل كرسى الأستاذية بجامعتى ساسكس وكمبردج ومنصب مدير المعهد الفلكى وحاز جائزة الكتابة فى العلوم الفيزيائية من المعهد الأمريكى. (المترجم)

(٢) Matrix رياضيًا هى مجموعة من الأعداد منسقة فى شكل مستطيل من الأعمدة والصفوف لمعالجتها، وهى هنا اسم فليم خيال علمى المصفوفة أنتج سنة ١٩٩٩. (المترجم)

وكل الإجابات على مثل هذه التساؤلات سرعان ما تفضي بنا إلى ما يسمى بالتكرار اللانهائى الذى صادفناه أنفا فمع كل خالق تتراءى لنا الحاجة لابتداع آخر لكى يخلقه. وإلاه قد خلق كوننا، وخلق آخر الإله الأول خالق الكون وهكذا دواليك إلى مالا نهاية. وليس ذلك بالحل الواقعى ولا يصلح أساسا لإجابات على أسئلة على شاكلة "كيف يتأتى للواقع أن يوجد" ؟

وقد أدت مشكلة مشابهة للتكرار اللا منتهي إلى نظرية فون نويمان عن الاستنساخ فقد جابهته مشكلة الكائن الذى يجب أن ينطوي على نسخة من الجيل التالى من السلالة، وهلم جرا. ويتضح أن مثل هذا الضرب من المنطق لا يصمد فى الطبيعة لأنها تقتضيك أن تخزن كل نسخة مستقبلية فى النسخة الحالية (أى كمية لا متناهية من المعلومات داخل حيز محدود). وعلينا بكل بساطة أن نبحث عن تفسير ممكن سوى ذلك.

ومن الطريف أن نلحظ - كيف تحورت صورة الإله عبر عصور البشرية متماشية مع معارف الإنسان. فقد رأى بشر ما قبل التاريخ إلها مختلفا لكل عنصر من عناصر الحياة، وكان على كل إله أن يخلق ذلك العنصر ومن ثمّ يكون مسئولا عنه. كان مفهوم الإله لدى قدامى الإغريق ذا معانٍ لاهوتية متعددة، بيد أن آلهتهم كانت قليلة العدد، مرتبطة بمفاهيم أكثر تجريدا مثل الحب، والحرب والسلام والسعادة، كما كانت هناك ديانات عديدة تتبع فكرة وحدانية الإله مثل اليهودية والمسيحية والإسلام. ونقابل فى الشرق بالمثل تنويعات مختلفة من مبدأ وحدة الكون (رغم أن الديانة الشائعة - على النقيض من ذلك - عبرت عنها مصطلحات مرتبطة بتعدد الآلهة).

ولقد دامت وجهة نظر وحدانية الخالق لما يربو على الألفى عام، إلا أن مهام الإله تحورت إلى حد ما. كان الإله - بالنسبة لجوهانز كبلر فى القرن السادس عشر - مختصا بعلم الهندسة، بينما صار بالنسبة لنيوتن - بعد ذلك بقرن من الزمان عالما فيزيائيا، جلس - بعد أن خلق قوانين الفيزياء وخلق الكون - يرقب الواقع وهو يتدرج ويتطور. وعالم نيوتن وقوانينه الفيزيائية عالم حتمى مائة فى المائة، كل شيء فيه يقع

وفق خطة مدروسة. وفي آخر تجسيد لهذه التصورات، ها نحن نتكلم عن الإله، كعالم حاسوب يجلس ويضع البرامج لمسيرة الكون.

ورغم أنه ما من دور من هذه الأدوار التى نُسب للإله لعبها، يمكنه الإجابة على السؤال عن أصل المعلومات، فيلوح أن هناك نزوعا جليا لتحجيم دور الإله شيئا فشيئا. لقد كان على الإله – فى العصور القديمة – أن يخلق كل الأشياء فى الكون حتى أصغرها. وأن يكون مسئولا عن كل سلوكها المستقبلى، بحيث يمكنك القول بأنه كان منقطعا لعمله. وبالنسبة لنيوتن – على النقيض – كان على الرب أن يخلق قوانين الفيزياء فحسب، وما أن يقوم بهذا حتى يستريح ويسترخي. لذا فمن الطبيعى التساؤل هل من الممكن بلوغ نقطة يغدو الخلق لديها فى غير ما حاجة إلى جهد لدرجة نصير عندها – ربما – لا نحتاج حتى لخالق؟

وهناك مماثلة طريفة فى الرياضيات لما نحاول تدارسه هنا، هى ببساطة تنويعة على "الخلق من العدم" فقد صمم فون نويمان فى العشرينيات طريقة شائقة لخلق الأعداد الطبيعية من مجموعات أرقام فارغة. وهاك ما تخيله : المجموعة هى ما يتكون من عدة أشياء (كالكون مثلا) والمجموعة الفارغة هى مجموعة تضم خواءً تاما، أى لاشىء على الإطلاق، ويمكنك اعتبارها " معلومات صفرية".

اقترح فون نويمان أن كل الأعداد يمكن أن تعمل كمعلومة فرعية تُستخرج من المجموعة الخاوية بإعمال العقل. وفيما قد يتراءى ذلك – فى البداية – أمرا شاذا، فإن به منطقا وجيها. فالذهن يرصد المجموعة الخاوية، وليس من العسير تخيل أن هذه المجموعة الخاوية، تضم أيضا بداخلها مجموعة خاوية أخرى. ولكن فلنتريث، إن لدينا الآن مجموعة خاوية، فهل يعني هذا أن : المجموعة الأصلية عنصرًا (وإن يكن هذا العنصر هو مجموعة خاوية)؟ أجل، وهكذا ولّد العقل الرقم ١ بإنتاج المجموعة المحتوية على المحتوية الخاصة بها، فإن العقل يكون بذلك قد ولّد الرقم (٢) من الفراغ. إنه مجموعة تحوي المجموعة التى لا تحوي شيئا، والمجموعة ذات المجموعة التى لا تحوى شيئًا

(أمل ألا يكون رأسك قد أخذ فى الدوران الآن). وهكذا دواليك إلى ما لا نهاية. وبذلك يولّد العقل كل الأعداد الطبيعية وإن كان - حرفيا - من الفراغ - بادئا فقط من مجموعة خاوية. وبالمثل بالابتداء من لا معلومات يمكنه - بتطبيق منطق فون نويمان أن يصل - وللعجب - إلى قدر ضخم من المعلومات.

وهكذا يمكن توليد كل الأعداد الطبيعية (وعددها لا ينتهي) من مجموعة خاوية تماما، وبعبارة أخرى يبدو أننا قد ولّدنا قدرا لا نهائيا من المعلومات من معلومات صفرية، أى من لا معلومات.

لاحظ أنه فى رؤية فون نويمان الطريفة، يعتمد كل خلق تال على السابق له. وهناك سلسلة طويلة من عمليات الخلق المعتمدة على بعضها البعض أى المترابطة وفى كل مرة يقرر فيها الذهن أن ينظر إلى المجموعة الخاوية بطريقة مختلفة، يظهر عدد جديد. لذا فالعلاقات البينية أساسية جدا فى وصفنا وفهمنا لمنطق فون نويمان. ومهما يكن الأمر فهى أيضا - بصرف النظر عن منطق فون نويمان - جد جوهرية فى العالم الواقعى وتتجلى من خلال المعلومات المتبادلة. ومن المغرى حقيقة أن يقال إن الأشياء والأحداث ليس لها - فى حد ذاتها - مغزى، ولكن تلك المعلومات المتبادلة بينها هى الواقعية. وكافة خواص الأجسام الفيزيائية بما فيها وجودها مكوّدة فقط فى علاقاتها فيما بينها ومن ثمّ فى المعلومات التى تتقاسمها مع الأجسام الفيزيائية الأخرى. وليست هذه بالرؤية المستحدثة أو الخاصة، بل هى فلسفة متكاملة سلفا تندرج تحت المسمى العام العلائقية[١] والديانات والفلسفات الشرقية جوهر قوى من التفكير العلائقى. وفى البوذية على وجه خاص نجد مفهوم "الخواء" وثيق الصلة بمجموعة فون نويمان الخاوية. ويعنى الخواء فى البوذية أن " الأشياء لا توجد نواتها ولكنها توجد فقط من خلال علاقتها بالأشياء الأخرى. فكّرْ - مثلا - فى مقعد. ما هو فى الواقع ؟ إن هناك فرعا

(١) Relationshipism .

كاملا فى الفلسفة يسمى "بعلم الوجود Ontology" مكرسا لهذه الأسئلة على شاكلة " ما معنى الكينونة ؟ "أو" ماذا يوجد، ومن أى ناحية هو واقعى ؟ وإنى لأعتذر مقدما للمتخصصين في علم الوجود وأستمحيهم عذرا إذ أستمر فى استعمال أقل قدر ممكن من الدقة الفنية حتى أوضح ما أشعر أنها النقاط البارزة اللازمة لمناقشتنا التالية.

فلنتخيل أن المقعد هو مجرد مجموعة من الأجزاء المفردة، مثل المسندين والقاعدة.. إلخ. حسنا.... كل ذلك ممكن ولكن كل هذه الأجزاء محض مسميات. فالمسندان والقاعدة لا وجود حقيقى لها بمفردها مستقلة عن السياق، فلا يمكنك – مثلا – أن تملك مسندا بدون مفهوم المقعد (دعنا نفترض أن المقاعد وحدها لها مساند).

وفى بحثنا عن جوهر كينونة المقعد، تلك التى تعَرِّف المقعد مستقلا عن أى شىء آخر لا يسعنا أن نقول إن المقعد هو فقط مجموعة من الذرات فى هيئة كرسى. ولكن الذرة – فى خاتمة المطاف – هى مسمى لمنظومة تحوى بعض جسيمات ذات شحنة موجبة وأخرى ذات شحنة سالبة إلى جانب بعض الجسيمات المحايدة. ولقد أطلقنا نحن عليها مسمى (البروتون والإلكترون والنيوترون). فإذا ما سألت ما هو الإلكترون، ستكون الإجابة : هو جسيم ضئيل ذو شحنة سالبة، ولكن كل ذلك محض مسميات كبيرة تخبرنا بسلوك هذا الجسيم فى التجارب المختلفة (فهو مثلا يتنافر مع بعض الجسيمات ويتجاذب مع أخرى). وفى النهاية فهى بطاقة تصف أنواع السلوك المختلفة التى تسلكها الإلكترونات عندما نحاول التعامل معها والتحكم فيها. وبدون هذه البطاقة من شأننا أن نطلق على الإلكترون تسمية مثل : " ذلك الجسيم الذى يصنع الفعل (س) لدى الاختبار (ص) ويصنع الفعل (ع) عندما ننظر إليه فى الحالة (ف)، وهكذا ".

وبهذا الأسلوب يمكننا أن نرى أن التسميات تريحنا إلى أقصى مدى وتخدمنا بكفاءة. غير أن البوذية تخبرنا أن علينا ألا نخلط بين الشىء ومسمّاه. وما هو أكثر أهمية، أن مجرد تسميتنا لشىء ما لا تعني أن هذا الشىء صار واقعا أمراً.

وتتوافق فيزيائيات الكموم للغاية مع فكرة الخواء البوذية. ولقد صاغ الفلكى البريطانى الشهير "آرثر إدينجتون" ذلك فى عبارته : "إن مصطلح الجسيم" يبقى حيا فى الفيزيائيات الحديثة، على أن النزر اليسير من معناه التقليدى سيبقى. وأفضل تعريف للجسيم الآن هو " حامل لمجموعة من المتغيرات العشوائية ذو طبيعة مفاهيمية. كما أنه يُستوعب على أنه يتخذ حالة معرفة بنفس المجموعة من المتغيرات. وربما يبدو من المرغوب فيه تمييز "الخيال الرياضى" عن "الجسيمات الحقيقية"، إلا أنه من العسير العثور على أى أساس منطقى لمثل هذا التمييز. ويعني اكتشاف جسيم، رصد تأثيرات بعينها تقبل كبرهان على وجوده. ويزعم إدينجتون هنا، أن الجسيم هو محض مجموعة من الرموز أو المسميات التى نستعملها لوصف نتائج قياساتنا.

وهذه هى النقطة المهمة التى توجز كل شىء فى علاقة التشابك بين قياساتنا الماهية والمسميات التى أطلقناها ! إن التعقد الذى تشاهده فى هذا العالم فيما حولنا – ونحن نؤمن بأن هذا التعقد آخذ فى التنامى مع الزمن، فيما يتعلق بحياتنا على الأقل – هو فقط نتيجة تنامي العلاقات البينية المتشابكة.

هل يمكننا – عن هذا السبيل – أن نحلل الآن كيف نكوّد الواقع ؟ إذا قمنا بذلك فلن نصل على الإطلاق إلى الشىء فى حد ذاته " بأية وسيلة كانت. فكل الأشياء الموجودة، موجودة بمقتضى ما اصطلحنا عليه وأسميناها به، وهى تبعا لذلك تعتمد على أشياء أخرى. لذا يقول البوذيون إن هدفهم الأسمى (وهو تحقيق الخواء التام) يعنى ببساطة أن نتحقق أساسا من كيفية العلاقات المتبادلة بين الأشياء ومدى أساسيتها. ويصح نفس الحديث تماما عن الديانات الشرقية الأخرى. والفلسفة الهندية - Advaita Vedanta وهى غير معروفة كثيراً فى العالم الغربى – تؤكد وحدانية الكون الكاملة. ومن هذا المنظور فإن إدراكنا للكيانات المنفصلة ماهو إلا محض وهم. وحتى الكون برمته موجود فقط بموجب تسمياتنا وليس بذاته. وواقعنا هو " جماع كل الأرصاد والحقائق التى حشدتها البشرية حتى الآن".

لقد بلغنا نقطة تعرف فيها كل حُبيبة بالكون من المادة (مثل الذرة) والطاقة (مثل الفوتون) منسوبة إلى سيناريو عويص يتم استشعارها من خلاله. فإذا ما أصدر جهاز الاستشعار (مثل عداد جيجر)[1] نقرةً ما فيعنى هذا استشعار الجسيم. والنقرة ذاتها تولّد شذرة إضافية من المعلومات يتكون منها الواقع. والنقطة المحورية هى أن الجسيم لا يوجد مستقلا عن جهاز الاستشعار.

ولكن ما الذى يكون بالضبط النقرة فى أى جهاز استشعار مثل عداد جيجر ؟ النقرة هى النتيجة الإيجابية لأية خطوات تجريبية قادرة على استشعار وجود جسيم ما. ويتم ذلك بتوليد تأثير متبادل معين بين جهاز التجربة والحيز المكانى الذى نبحث فيه عن الجسيم. ويحتاج التأثير المتبادل إلى تصميمه جيدا. فبعض التأثيرات المتبادلة لن تستطيع - ببساطة أن تؤدى هذه المهمة، أى أنها لن تصدر لنا شذرة المعلومات ذات العلاقة. وبالعودة إلى مثال الفوتون، نجد أن مفرق الأشعة لن يعطينا أية معلومات عما يختص بوجود الفوتون، فلا شىء فى المفرّق يحتفظ بتسجيل يدل على وجود أو عدم وجود الفوتون الذى قد يكون قد نفذ خلاله، وبعبارة أخرى لا يمكن أن يصدر المفرق أية نقرات. فإذا ما أردنا نقرة فعلينا استخدام شىء ما كبديل للمفرق أو بالإضافة إليه، كمضاعفات الضوء. وتصمم مضاعفات الضوء بحيث يتسبب وجود الفوتون فى خروج إلكترون، وتحفز حركة هذا الأخير تيارا كهربيا يكبّر مقداره إلى المستوى العيانى، ويتمثل هذا فى نقرة يمكن سماعها أو فى أى أثر آخر بوسعنا رصده بحواسنا.

وبالوسع على كل حال المضىّ فى الأمر قدما، فنتساءل : هل الجسيم هو العلة وراء نقرة جهاز الاستشعار ؟ والإجابة بالنفى، لأن الجسيمات فى فيزياء الكم وكما شرحنا توجد ولا توجد آنيا.

---

(١) Geiger Counter عداد جيجر: جهاز للكشف عن الإشعاعات المؤيّنة مثل أشعة جاما والأشعة السينية والإلكترونات. (المترجم)

ولا أقصد هنا مجرد وجودها فى مواضع مختلفة، ولكن أعني أنه حتى فى موضع واحد يمكن للجسيم أن يوجد ولا يوجد فى ذات الوقت. وذلك بالمثل نتيجة مباشرة لعدم محتومية الكموم. فما الذى يعنيه هذا فى مثال مفرق الأشعة الذى تدارسناه سابقا ؟ إنه يعنى أن الفوتون وفى آن واحد يدخل ولا يدخل فيه، ويقتضي ذلك أن الوقت الوحيد لاستشعاره لدى مخرجه هو عندما يوجد. ونقر جهاز الاستشعار أو عدم نقره هو حدث عشوائى أصيل يستحيل التنبؤ به بأية وسيلة، مثلما يستحيل التنبؤ بانعكاس الفوتون عند مفرّق الأشعة. ويستوجب هذا ألا نقول إن جسيما موجودا يسبب النقرة مثلما لا يمكننا القول إن انعكاس الفوتون تسبب فى نقرة (إذ نعرف أنه ينفذ أيضا). وليس للنقرة من سبب قط ومن ثمّ فما من جسيم مختبئ (تحت السطح) مادام ما من جسيم مختبئ فى الواقع فليس ثمة أشياء فى الكون مركبة من جسيمات موجودة دون خطوط السير المتشابكة اللازمة لرصدها. وأحداث الرصد أصيلة فى عشوائيتها والواقع الذى يظهر يُرى فى العلاقات المتبادلة – التى يعبر عنها بقوانين الفيزياء – بين الأحداث التى هى شذرات من المعلومات. فإذا كان الرابط بين دمج المعلومات و العشوائية هو ما فكر فيه كولموجوروف وتشايتين فإن هذه الخلاصه من المرجح صحتها بصرف النظر عن نظرية الطبيعة التى نكتشفها مستقبلاً.

والواقع مكون من شذرات من الكموم، تنبع كل منها من (نقرة) غير مسببة. والنقرة التى لا علة لها تماما لها خاصية مستحدثة وهى أنها تحدث انقطاعا فى الزمن المتصل. فما أن يُدوّن حدث حتى يتجمد إلى الأبد فى الكون، ويصبح عنصرا فيما نطلق عليه (الماضى). وقبل وقوع الحدث على كل حال، لدينا عدم تيقن من وقوعه وفى توقيته. فكل الإمكانات حالئذ موجودة فى ذات الوقت، وساحة اللعب مفتوحة على مصراعيها. ويُعزى وقوع الحدث آنذاك إلى ما نسميه (المستقبل). والعشوائية المتأصلة فى قلب الواقع هى – لذلك – ما يسمح لنا بالتمييز بين ماض تحجر وغد غير قابل للتغيير، ومستقبل متحرك هلامى لم يتبلور بعد.

والتمييز بين الماضي والمستقبل المنبتّين عن بعضهما بسبب القياسات، دائما ما ينسب للراصد الذى سجل نقرة القياس. ومن شأن الشخص القادر على التحكم فى الراصد وتأثيره المتبادل مع البيئة أن يستطيع – طبقا لفهمنا الحالى لميكانيكا الكم – أن يعكس اتجاه عملية الاستشعار وبالتالي أن يمحو ماضى الراصد. وليس هناك تناقض، بل هو تأثير متبادل بين المعلومات المحلية (الخاصة بالراصد) والمعلومات الشاملة (الخاصة بالشخص الذى يعكس اتجاه الرصد ويتلاعب بالراصد والبيئة).

ومن طرائف الأمور الجديرة بالملاحظة أن التأمل السابق العميق في تحقيق "الخواء" هو تمرين مشابه لتخليق فون نويمان للأعداد من المجموعات الخاوية، وإن كان يمضي فى الاتجاه المعاكس، فقد بدأ فون نويمان من المجموعة الخاوية إلى عدد لا نهائى من الأعداد الطبيعية أما هنا فقد بدأ بالأجسام العيانية وفككها ليجد بالفعل لا شيء وراءها. فهى مبينة على العشوائية، وما من معلومات سابقة لها.

وهنا تتجلى ضبابية الواقع. فكل شيء موجود فى كوننا يمكننا أن نرجعه إلى أى نوع من الواقع، موجود فقط بفضل المعلومات المتبادلة التى يتقاسمها مع الأشياء الأخرى بالكون. وفيما وراء ذلك ليس هناك شيء، لا شيء آخر يخفي واقعا متواريا فى طياته، ومن هنا فليس ثمة تسلسل لا نهائى. وينبغي أن يكون الأمر كذلك، وإلا فإننا نطلب من كون محدود أن يضم قدرا لا نهائيا من المعلومات، ومن الجليّ أن ذلك محال. وانطلاقا من هذا المنطق، يجدر بنا أن نفكر فى تطور الكون على أنه بدأ بمخزون من أكثر من واقع نبع منها واقع واحد. ومن هذه الحالة الابتدائية، التى تحوي كل المستقبلات الممكنة لاحقا، يقع الحدث الأول دونما علة (أى حدث عشوائى) ويمنحنا هذا أول شذرة من المعلومات. وهكذا من كل المستقبلات المحتملة، يصبح لدينا عدد أقل من المستقبلات لأن الحدث الأول – ببساطة – قد وقع بطريقة بعينها، ولأنه سيكون – بالنسبة لكل الأحداث التالية – ماضيا، وبهذه الطريقة يتكون بين الشذرات تبادل المعلومات.

وهنا يمكننا أن نعقد مماثلة مع النحت. فالمثال يبدأ بكتلة من الحجر وبنيّته أن يخرج منها بتمثال. وبوسعنا – على نحو ما – أن نقول إن كتلة الحجر التى لم تمس بعد

تحوي كل التماثيل التى يمكن نحتها، فهى بمثابة كوننا الابتدائى حيث توجد كل بدائل الواقع الممكنة فى نفس الوقت، بيد أنها لم تُفعّل أى لم تصبح واقعا. ويقوم المثّال حينئذ بلمسته الأولى ويزيل بإزميله قطعة من الكتلة. وتخلّ هذه النحتة الأولى بالتماثل وتختزل المعلومات المحتواة داخل الكتلة الابتدائية. ولم يعد لدينا الآن كل بدائل التماثيل المتاح نحتها، حيث استُبعد بعضها مما كان يحتاج نحته إلى القطعة التى أزيلت وبالتالى لم يعد نحتها متاحا.

فلنفكر - مثلاً - فى " مايكل أنجيلو " وهو يقف أمام كتلة حجرية طولها ستة أمتار، متأهبا للبدء فى العمل فى تمثال "داود". إن "داود" ينتصب الآن بشموخ بارتفاع خمسة أمتار فى قاعة أكاديمية فلورنسا، كتحفة فنان عصر النهضة العملاق. تصور أن أول لمسة من هذا العبقرى جانبها الصواب فقام بالنحت فى اتجاه أفقى بحيث صار لديه الآن كتلتان أصغر حجما كل منهما بارتفاع ثلاثة أمتار.

صحيح أنه ما زال بإمكانه نحت تمثال ولكنه لن يكون بارتفاع تمثال داود. ولنتخيل أنه وقع فى خطأ آخر، مما سينعكس دون شك على ما يمكن وما لا يمكن نحته من الكتلة الحجرية المتبقية، إذ تقلصت البدائل المتاحة لديه.

وهكذا يمضى الأمر : مع كل ضربة إزميل تالية من المثّال، يتقلص عدد احتمالات المستقبل ومع الانتهاء من نحت التمثال يكون احتمال واحد فقط هو الذى تبلور. وحتى عندئذ هناك كثير من الأشياء التى يمكن عملها للتغيير من شأن التمثال، لذا فنحن لا نصل إلى شىء نهائى البتة. وكلما أيقنا من وصولنا لشىء نهائى، فدائما ما يجوز أن يقوم المثال بلمسة مختلفة. وماذا يحدث عندما لا يعود هناك مجال للمسات إضافية. وهل هذا سيناريو واقعى؟ مما سبق مناقشته لن يحدث هذا بالكون على الإطلاق، فالتغير فى المنظور يولد أفكارا ومعلومات جديدة عن الهيئة التى قد يكون عليها الواقع، ومن خلال التغيرات الأصغر فالأصغر التى تتوالى سيكون بمقدور النحات دائما أن يقوم بضربة إزميل أخرى بما تبقى أيا كان.

والتفكير فى الكون بعين هذا الأسلوب هو بالضبط وبأمانة الذى يجسد الروح التى يعمل بها العلم. فنحن نجمع المعلومات عن الكون من خلال رصدنا لأشياء مختلفة، وتمضي هذه الأرصاد لتشكل لنا الواقع. وعن هذا الطريق يتراءى الواقع فيما حولنا فى هيئة محددة جاسئة.

ولما كانت المعلومات التى نكتسبها من الكون تُحدَّد من خلال راصديها فيبقى السؤال : كيف عسانا نعّرف ذلك الراصد. هل لدينا راصد شامل بوسعنا أن نثق فى أرصاده وننزهها عن أى شك ؟ حسنا، بعيداً عن أن ندرج مفهوم القوى الخارقة فوق الطبيعية والتى هى دوما ذريعة للتملص يبدو كل الراصدين على قدم المساواة، فكل يعرف واقعه هو.

لقد ألفينا أنفسنا فى الباب الثانى نعرف الواقع من خلال لعبة ورق كالفينو. ففى لعبة الورق هذه يمثل كل لاعب راصدا، وكل راصد يمثل بدوره جانبا مختلفا من الواقع (الاقتصاد، الفيزياء، البيولوجيا، علم الاجتماع، علم الحاسوب والفلسفة). ويتواصل كل راصد بما خبره من خلال سلسلة من أوراق اللعب، فالفيزياء تحكى لنا عن قوانينها – فإن ألقيت تفاحة مثلا فإنها ستهوي صوب الأرض، وإذا أحمى الماء لأعلى من درجة بعينها فسيتحول إلى بخار. وعلى نفس المنوال يأتي الاقتصاد، والبيولوجيا وكل الراصدين الآخرين، كل يروي قصته. وعلاوة على رواية قصته، يصغي كل راصد يجلس إلى المائدة، إلى قصة سواه من اللاعبين .

ومن خلال ذلك ينبثق الواقع عن طريق تبادل المعلومات بين اللاعبين. فاليوم مثلا تشير أوراق اللعب التى كشفتها الفيزياء إلى أن أقصى سرعة للانتقال هى سرعة الضوء. و لا نعني بذلك القول بأن فيزياء المستقبل لن تفصح عن ورقة أخرى تخبرنا فى حينها أن الانتقال بأسرع من سرعة الضوء تحت ملابسات معينة، فى حيز الإمكان. وبينما تتسم روايات اللاعبين بالترابط فإن تأويلنا لما نرصده يتطور صوب تقريب أفضل فأفضل بمداومتنا على الرصد. ومثلما اعتدنا فى أحاديثنا اليومية، يمنحك

سماعك نصف الرواية حتما، نتفا من المعلومات فقط، بل ربما تصلك الرسالة مغلوطة تماما. ولسوء الطالع، فإن المكوث حتى انتهاء اللعبة قبل الخروج بمغزى مما تحويه من معلومات، يقتضينا الانتظار لفترة تتخطى عمر الكون نفسه. ومن ثم فإننا - بدلا من ذلك - نثابر دوما على تخمين حقيقة الواقع بكل ما أوتينا من جهد.

ويواصل كل لاعب روايته من خلال أوراق لعبه، ويُفترض أن هذه الأوراق قد سبق تحديدها (كوسيلة تواصل) وأنها تمكّن اللاعبين من مواصلة رواياتهم. فهل بوسعنا - فى ضوء ما سلف من محاورات - أن نذكر أى شىء عن مصدر أوراق اللعب هذه؟، فى واقع الأمر نعم نستطيع.

لقد رأينا سابقا فى هذا الباب أن المعلومات تأتي فى صورة وحدات متقطعة - شأنها شأن أوراق اللعب أو شذرات المعلومات - وأن هذه الوحدات المتقطعة مبنية على أساس مستوى متأصل من العشوائية. فإذا كان بأوراق اللعب ذاتها عنصر ما من العشوائية (كأن تمثل الورقة القوة أحيانا والسلام أحيانا)، فكيف يا ترى يستطيع أى شخص أن يروى - من خلالها - قصة مترابطة ؟ من الجلى استحالة مثل هذه القصة بتلك الأوراق غير المحددة جيدا، فهى لا تبدو منطقية بالقطع. وإنه لمناف للبديهة أن فيزياء الكم - رغم ما يتراءى من وعينا بواقع محدد يحيط بنا - تتطرق إلى أنه ما من واقع واحد متوار فى الكون، فى استقلالية عنا، وأن واقعنا يتحدد فقط حينما نرصده نحن حقا، إذا رصدناه.

وعلى سبيل المثال، حين يرتطم جسيم الضوء (الفوتون) بسطح زجاجى كنافذة حجرة نومك، فقد يحدث احتمالان، إذ يمكن أن ينعكس الفوتون ويمكن أن ينفذ خلال زجاج النافذة. وتخبرنا فيزياء الكم أننا إذا ما رصدنا الفوتون فلن نستطيع البتة التنبؤ - مقدما - بالنتيجة، فالعملية عشوائية تماما. ولكن.. ماذا يحدث إذا لم نرصد الفوتون؟ تصل فيزياء الكم إلى أن الفوتون سينتهج البديلين، أى أنه سيخترق الزجاج وكذلك سينعكس، أى سيوجد فى مكانين آنيا، هناك إذن واقعان متمايزان!

ولكننا نرى حولنا فيما يبدو واقعا واحدا .. أبدا لن ترى نفس الشخص فى موضعين مختلفين فى ذات اللحظة، فكيف تتيح عملية الرصد لواقع مفرد أن يظهر من بين واقعين أو أكثر؟ يبدو أن فيزياء الكم تستوجب أن يتجلى الواقع - بكيفية ما - من خلال التأثيرات المتبادلة بين الراصد والمرصود، وهو استحضار لحيلة الساحر الذى يجعل ورقة لعب تبرز من بين مجموعة أوراق لم تكن الورقة موجودة ضمنها أصلا.

ولاستجلاء هذه النقطة دعنى أبلغ ذات الرسالة من خلال لعبة بسيطة.

هب أن لديك أربعة لاعبين، أعطى كل منهم فى بداية المباراة أربع أوراق لعب، وهدف اللاعب فى المباراة أن يحوز الأوراق المحتوية على نفس الرقم (أربعة آسات أو أربعة عشرات مثلا) عن طريق مبادلة الأوراق مع اللاعبين الآخرين، والرابح هو أول من ينجز ذلك. على أن هناك قاعدتين للعب، أولاهما أنك تستطيع فقط أن تطلب ورقة إذا كان لديك ورقة على الأقل من صنفها، فيمكنك فقط أن تطلب من غيرك "الآس" إذا كان بيدك ورقة آس على الأقل. فإذا ردّ من تطلب منه بالنفى فيعني هذا عدم وجود آسات بيده ويحل الدور على اللاعب التالى : فإذا كان معه ما طلبت فعليه إعطاؤك إياه، ويصبح لديك الخيار أن تسأل اللاعب نفسه ثانية أو تسأل غيره. وحيث تطلب الآس، يدرك سائر اللاعبين للتو أن بيدك على الأقل ورقة آس، واللاعب الذى يحق له الطلب صار يعرف ماذا يطلب منك. وهذه اللعبة بطبيعة الحال سهلة ولا يتطلب الأمر أكثر من دورتين ليتحدد الفائز.

والشىء الطريف هو أن تجرى المباراة بدون أوراق لعب. وهاهنا تبدأ الإثارة، حيث تجري المباراة بكاملها داخل أذهان اللاعبين، إذ يتخيل كل لاعب - جزافيا - أية أربع أوراق، غير أنها أوراق غير قياسية، إذ لا حدود للأرقام التى تحتويها ولا حدود لعدد الأوراق التى تحوي كل رقم.

فمثلا، يمكن للاعب أن يتخيل ثلاثة أوراق تحمل صورة فيل وورقة واحدة بصورة تمساح، بينما يتخيل غيره ورقتى آس وورقتين بهما صورة تفاحة. وطالما أننا نضيف

شرطا بألا تبدأ بأربع ورقات متشابهة، فنحن ندرك أنك مرغم على الطلب ولو مرة واحدة على الأقل. ورغم ما قد يتراءى من وجود عدد غير متناهٍ من التوافيق، فما يبعث على الدهشة أن ذلك لا يمثل مشكلة ويمكننا دائما أن نحدد الرابح. فالقاعدة الحاكمة هى أن اللاعبين ليس بوسعهم تغيير أية اختيارات من شأنها أن تخل بقواعد اللعبة، رغم أن بمقدورهم تبديل أوراقهم طوال المباراة. فأنت بسؤالك لآخر عن ورقة ما لا بد أن يكون بيدك واحدة مثلها على الأقل، وإذا سأل شخص عن ورقة بعينها من واقع إجابات اللاعبين فلابد من إعطائها له. وهكذا فإن القواعد المحددة للمباراة وقدرتك على تبديل أوراقك كى تربح هو ما يضيّق سريعا من الاحتمالات المختلفة مع سير المباراة. فالسؤال والإجابة يفصحان كلاهما عن الأوراق بيدك كما يؤثران فى أوراق الآخرين. وهذا البديل الذى لا توجد به أوراق حقيقية أو حدود لأصناف الورق يُختصر سريعا إلى المباراة التقليدية وسرعان ما يتحدد اللاعب الفائز.

والمواظبة على السؤال فى المثال السابق يماثل إجراء التجارب فى الفيزياء، حيث نبدأ برصد عدد لا متناهٍ من الاحتمالات، ومن خلال التأثيرات المتبادلة مع المنظومة، وتعديل تجاربنا بما يتماشى مع المعلومات المتوفرة تتقلص النتائج الممكنة حتى تقتصر على نتيجة مفردة (أى رابح أو واقع وحيد). وينبغى أن تكون للتجارب قواعدها التى تناظر قواعد المباراة، وهى هنا قوانين الفيزياء. فالواقع إذن تخلقه التجارب بنفس أسلوب تبديل أوراق اللعب فى المباراة الخيالية السالفة. ومن خلال هذه المماثلة آمل أن يستشعر القارئ مدى غرابة ميكانيكا الكم وشذوذها عن المألوف.

لقد ذكرت أن المعلومات بالكون تتشابه كثيرا مع ما تخيله كالفينو، فهى فى شكل وحدات متقطعة (وقد رأينا ميزة ذلك عند حديثنا عن الدنا والحياة) محدودة تعتمد على السياق. والجانب الجوهرى المفتقد فى لعبة أوراق كالفينو هو أنه ما من أوراق لعب فى واقعنا. فالطبيعة لا تمنحنا أوراقا نبدأ بها المباراة.

(وهذا فى الفيزياء الكمومية نوع خاص من منع العينة غير القياسية من تخطي اختبار القبول) وتستثنى من ذلك ما يطلق عليه المتغيرات المتوارية[1]، ومن ثم فعلينا أن نخلق أوراق اللعب بأنفسنا عن طريق ما نرصده.

والتماثل الحق بين أوراق اللعب والمعلومات فى الكون هو تآلف بين لعبة أوراق كالفينو ولعبة الأوراق الخيالية التى صورناها. تخيل أن لدى لاعب مجموعة مختلفة من الأوراق، وأن كل ورقة ليس لها أى معنى سبق تحديده، وهو ما يعني موقفا شبيها بالنحات الذى بوسعه الذى يعنينا، ففى بداية (المباراة) لدينا كل احتمالات الواقع المستقبلية - إذ يبدأ بكتلة حجرية صماء - أن ينحت أى شكل. فلدينا الشروط الابتدائية كى نحدد الواقع.

وبينما تطلب من الآخرين أن يجمعوا أوراقك، تنكشف قصة حياتك بطريقة لا يمكن التنبؤ بها.. طريقة تتوقف على الأوراق التى يخبرك الآخرون أنها بأيديهم. ولا يحكم هذه العملية أى شىء اللهم إلا ترابط القصص التى سلف أن رووها. فعلى سبيل المثال، إذا أخبرتنا الفيزياء أنها ألقت بتفاحة فهوت إلى الأرض، فلن يكون باستطاعتها فيما بعد تبديل روايتها فتقول إن التفاحة لم تهو إلى الأرض. فالحدث قد تحدد وتم التواصل معه وهو الآن رهن التسجيل وما من سبيل لتعديله.

فإذا ما اكتشفنا فيما بعد أن التفاحة – فى ظل بعض الملابسات – لاتسقط إلى الأرض، فذلك لا يتعارض مع قصة اللاعب، ولكنه – فحسب – يضيف وعيا جديدا، بأنها قد لا تسقط تحت ظروف معينة.

إن الملح الرئيسى فى " المباراة بدون أوراق لعب "هو بالدقة حقيقة أن أوراق اللعب تأتى من "لا مكان" فنحن نبدأ دونما معلومات على الإطلاق (أو بمعلومات لا نهائية إذا توخينا الدقة، حيث كل الإمكانات مفتوحة) وكل شىء فى حيز الإمكان فيما يتعلق

(١) Hidden Variables نظرية المتغيرات الخفية: نظرية تحاول تفسير الطبيعة الإحصائية الاحتمالية لميكانيكا الكم باعتبارها نظرية غير متكاملة واحتمال وجود حقيقة واعية أكثر شمولاً متوازية فى رحم ميكانيكا الكم. (المترجم)

بترتيبات الأوراق ورموزها، ثم نشرع فى الأسئلة، فيبدأ نسق محدد فى الظهور. ونكشف الأسئلة - التى تخضع لنطاق بالغ الضيق من القواعد - نوعا معينا من الواقع لم يكن باديا قبل الأسئلة أو بدونها. فى لعبة أوراق نمطية، تكون كل الأوراق المتداولة محددة وهو ما لا يتحقق فى لعبتنا هذه.

وحول هذه القضية التى تمس موضوع "لعب المباراة بدون أوراق لعب" قدم الكيميائى البريطانى بيتر أتكنز "Peter Atkins" التفسير التالى : "فى البدء لم يكن هناك شىء، بل خواء كامل، لم يكن حتى فضاء خالٍ، فلم يكن ثمة فضاء، ولم يكن ثمة زمان، فقد كان ذلك قبل الزمن. لم يكن للكون شكل أو هيئة.. بل خواء. وبالمصادفة البحتة وقع تذبذب ما وبرزت من جوف العدم مجموعة من النقاط مستمدة وجودها من الذبذبة التى شكلتها، وعرّفت الزمن". وعلى ذلك فالفضاء (ومن ثم أوراق اللعب) يُخلق على نفس المنوال، والبقية كلها تاريخ. ويبدو هذا السيناريو للأحداث جذابا، بيد أن المشكلة تكمن فى أن الذبذبات الابتدائية التى تؤدى إلى كل شىء يصعب ترجمتها إلى كميات بدون أية نظرية سابقة لها (أى بدون قواعد لمباراة أوراق اللعب). ولتحديد حيز التذبذات واحتماليتها نحتاج عادة إلى معلومات أكثر، كمعرفة نظرية الكم مثلا، وهى أحد القواعد المحورية فى اللعبة.

ومثلما تلزمنا قوانين الفيزياء لوصف الأحداث، يلزم للأحداث نفسها قوانين الفيزياء كى تقع. فأى الأمرين أتى أولا ؟ إذا ما تخيلنا أن قوانين الفيزياء قد جاءت أولا ثم أملت كيفية وقوع الأحداث، فهل يبدو الأمر مترابطا ؟ إن قوانين الفيزياء تصبح قوانين لأنها أحداث مترابطة تفرز نتائج متوافقة مع تلك القوانين. والأحداث فى حد ذاتها هى المادة التى صيغت على أساسها القوانين. وإتيان قوانين الفيزياء فى البداية يعنى عدم وقوع أحداث سابقة عليها تتوافق مع هذه القوانين، ومن ثمّ يبقى السؤال ما إذا كان هناك قانون أصلا، رغم أن المعلومات المتبادلة - وكما رأينا - يمكن أن تنشأ من " لا معلومات شاملة " ويمكن للأحداث أن تقع من غير ما قاعدة مسبقة.

وقد كان منطق لايبنتز أن أبسط حالات الكون الممكنة هى تلك الحالة التى تضم "اللاشىء" لذا فقد كانت حقيقة إبصارنا لشىء ما فى نظره أقوى برهان على وجود الإله. ومهما يكن الأمر، فانعدام وجود أى شىء فى البداية يناظر - فى صورتنا نحن - انعدام المعلومات، كما يعنى هذا فى نظرية شانون انعدام الإنتروبيا فى الكون بأسره. وأى اكتساب للمعلومات يلى ذلك لا ينهض بالضرورة دليلا على وجود الإله، حيث إن المعلومات المتبادلة - وكما رأينا - قد تتولد فى الحساب الختامى محليا حتى ولو بقيت المعلومات الإجمالية ذات قيمة صفرية.

ويمكننا بناء واقعنا بمجملة بذات الطريقة بالنظر إليه كسهمى معرفة متمايزين وإن كانا مرتبطين فيما بينهما، فلدينا الخلق الذاتى للمعلومات المتبادلة فى الكون مع تكشّف الأحداث بدون أية علة مسبقة.

وينبذ ذلك فكرة التأثير المتبادل السهمين. وعلى النقيض من ذلك، فنحن ندغم المعلومات الكونية داخل مجموعة من القوانين الطبيعية، وذلك عن طريق أرصادنا ثم سلسلة من عمليات التخمين ثم الدحض (الحدس ثم التفنيد). والقوانين هى أقصر الوسائل لتمثيل أرصادنا. ومن ناحية أخرى نحن نفعّل هذه الوسائل لتولد لنا صورتنا عن الواقع. وهذه الصورة هى التى تخبرنا ما الذى يمكن إنجازه وما الذى لا يمكن، أو بعبارة أخرى ما هى أقصى حدودنا.

إن الكون يبدأ خاويا، ولكن... ولديه رصيد ضخم من المعلومات. والحدث المحورى الذى يعطى الكون توجهًا ما هو أول إخلال بالتماثل (وهو بمثابة أول ضربة إزميل للنحات) وهذا العمل، الذى نعدّه عشوائيا تماما بدون أية علة مسبقة، يقرر فقط لماذا تتخذ ناحية ضئيلة من الكون طريقا دون آخر. ويجر هذا الحدث الأول وراءه سلسلة من ردود الفعل التى، ما أن تتقرر قاعدة واحدة حتى تحتاج بقية الكون أن تمضى فى حالة مترابطة. وتماما كما فى لعبة الورق لدى كالفينو، لابد أن تكون القصة التالية مترابطة مع سابقتها.

وها هنا يبدأ أول سهم للمعرفة، فنحن ندغم المعلومات الذاتية وإن كانت مترابطة في الكون، في مجموعة من قوانين الطبيعة التي تتطور على الدوام باختباراتنا وإقصائنا للمغلوط منها. ومثلما تطور الإنسان عبر دمج المعلومات البيولوجية (سلسلة من التعديلات للتلاؤم مع البيئة المتبدلة) كذلك تطور إدراكنا للكون (أو للواقع) بمعالجتنا ودمجنا المعلومات المكتسبة في قوانين للطبيعة أكثر وأكثر دقة. وهكذا تظهر قوانين الطبيعة، وهي القواعد الفيزيائية والبيولوجية والاجتماعية التي ترتكز عليها معارفنا.

والسهم الثاني للمعرفة هو الوجه الآخر للسهم الأول. فما أن نصوغ قوانين الطبيعة حتى ننطلق لاستجلاء معانيها حتى نتعرف على واقعنا بمعيار ما هو ممكن وما هو غير ممكن في نطاقه. وأنها لحقيقة لازمة أنه أيا كان واقعنا فهو مبني – بلا استثناء – على إدراكنا لهذه القوانين. وعلى سبيل المثال، إذا لم نعلم بالانتخاب الطبيعي، فكل الأنواع تتراءى مخلوقة في استقلالية تامة عن بعضها وما من صلة واضحة بينها. وكل ذلك بطبيعة الحال في حراك دائم حيث نجد حدثا ما غير متوافق مع وصفنا للواقع، ومن ثم نعود ونغير من القوانين بحيث يمكن للواقع الناتج مؤخرا أن يفسر ذلك الحدث.

والأساس في هذين السهمين هو غموض الواقع الشديد، والخواء الذي بزغا منه والذي يفعّلان في نطاقه. وباتباعنا للسهم الأول، نصل في خاتمة المطاف إلى... لا شيء (ففي المدى الأقصى ما من واقع، وما من قانون دون قانون) ويعلو بنا السهم الثاني عندها فوق هذا العدم لينجب صورة للواقع كجماع لا صلة بين أجزائه.

وهكذا يبدو أن سهمينا يشيران إلى اتجاهين متضادين، فالأول يضغط المعلومات المتاحة في معرفة موجزة، بينما يبسط الثاني القوانين الناتجة في صورة مزركشة للواقع، وبهذا المعنى فواقعنا برمته مشفّر داخل حزمة من قوانين الطبيعة. وقد سبق قولنا إنه كان هناك توجّه عام لتدفق المعلومات في الكون، فالإنتروبيا (أو التشوش) في الكون تتجه للزيادة فقط. ويمدنا هذا بتوجه محدد تماما للكون، هو ما نعرفه بمسمى "سهم الزمن" ترى.. كيف يقف سهمانا للمعرفة بالنسبة لسهم الزمن؟

من الجلى أن السهم الأول للمعرفة يقتدى "بشبح ماكسويل"، فهو يصارع دوما سهم الزمن وما ينفك يدمج - بلا هوادة التشوش فى شكل ذى معنى، ويربط الأحداث التى تبدو عشوائية ولا علة لها فى خيط من الحقائق ذات العلائق المتبادلة فيما بينها. أما سهم المعرفة الثانى - فيعمل فى عكس الاتجاه، فيزيد من الفوضى والتشوش، وبتغيير نظرتها للواقع، يوجهنا إلى أن هناك المزيد من الخطوات التى يمكننا اتخاذها فى نطاق الواقع الجديد بأكثر مما يمكننا مع الواقع السابق، أى بنظرة محدودة أكثر.

إن هاتين النزعتين المتعارضتين تقبعان داخل كل منا، بل فى جوف كل الأشياء فى الكون، فهل هذا صراع أبدى بين المعلومات الجديدة (وبالتالى زيادة تخليق الشواس فى الكون) وبين مجهوداتنا كى ننسق ذلك فى مجموعة صغيرة من القواعد؟ إذا كان الأمر كذلك، فهل هى معركة خاسرة ؟ كيف عسانا يا ترى، وهل بمقدورنا مصارعة الكون؟

النقاط المحورية فى الفصل الثانى عشر:

- تمضي المعرفة العلمية عن طريق التحاور مع الطبيعة. ونحن نسأل الأسئلة ذات الإجابة بنعم أو بلا، من خلال رصدنا للظواهر المختلفة.

- تتخلق المعلومات من هذا السبيل من "لا معلومات". وإذ نخطو فى الظلام الدامس، نضع علامة نستعملها فيما بعد فى تنقية إدراكنا بطرحنا للأسئلة ذات الإجابات (نعم/لا).

- وأنا أطلق على هذا الأسلوب الاستقرائى الذى تُشيد على أساسه النظريات الفيزيائية، غموض الفيزياء. والإقرار بأن شيئا ما ليس هو المفتاح لبناء نماذج أفضل وأفضل للعالم. وعادة ما تكون القوانين الفيزيائية أكثر أساسية كلما زاد استبعادها. ويمكن أن نصوغ ذلك فى المقولة النمطية : لا وجود لمثل هذه العملية حيث يمكن أن يحدث كذا وكذا".

- هناك خطوط متوازية كثيرة فى الدين تستعمل " منهج النفى " للوصول إلى الحقيقة العليا. والمثالان البارزان على ذلك الآباء الكابادوكيون فى عصور المسيحية الباكرة، والمذهب الهندوسى . Advaita Vadanta

- ينبع واقعنا برمته باستخدامنا لأسلوب الحدس ثم التفنيد أولا حتى ندمج أرصادنا، ثم نستخلص من هذا الدمج ما هو ممكن وما هو غير ممكن.

خاتمة

يخلص هذا الكتاب إلى أن كل شيء في واقعنا عبارة عن معلومات ، بدءًا من تطور الحياة وديناميكيات التراتب الاجتماعي، إلى أداء الحواسيب الكمومية ، فكلها بوسعنا فهمها من منظور اعتبارها شذرات Bits من المعلومات. ولقد رأينا أنه لكي نحكم قبضتنا على آخر عناصر الواقع ، يلزمنا أن نمد مظلة مفهوم "شانون" الأصيل عن المعلومات ، وأن ننتقل بمفهومه من الشذرات إلى الشذرات الكمومية (الكيوبيتات quantum bits or qubits) والشذرات الكمومية تشمل حقيقة أن المخرجات المتاحة لقياساتنا في نظرية الكم ، هي في جوهرها عشوائية.

ولكن، من أين تأتي هذه الشذرات الكمومية ؟ تتيح لنا نظرية الكم الإجابة على هذا السؤال. على أن الإجابة ليست هي بالضبط ما نتوقع ، بل إنها تطرح أن هذه الشذرات تأتي من (لا مكان) !

فما من معلومات مسبقة تلزم كي توجد معلومات . فالمعلومات يمكن أن تُخلق من فراغ (من عدم أو خواء) وفي سعينا للإجابة علي ذلك السؤال العسير عن "قانون دونما قانون"، نجد أن المعلومات تكسر هذه الحلقة المفرغة من التسلسل اللانهائي الذى يلوح أننا دائما ما نحتاج فيه إلى قانون أكثر أساسية لشرح القانون الراهن. وهذا الملمح من ملامح المعلومات والذى يأتى فى المآل الأخير من فهمنا لنظرية الكم ، هو ما يميز المعلومات عن أى مفهوم آخر – مثل المادة أو الطاقة – ويمكنه مستقبلا أن يوحد وجهة نظرنا إلى "الواقع" . والحقيقة أن المعلومات متفردة فى هذا الشأن. والنظر إلى الواقع باعتباره معلومات، يقودنا إلى التعرف على اتجاهين متنافسين فى تفسير تطوّره.

وهذان الاتجاهان - بل دعنا نسميهما بالسهمين - يعملان جنبا الى جنب ، وإن أشارا إلى ناحيتين مختلفتين ، فالسهم الأول يؤشّر بتنسيق العالم - بعكس منطوق قانون الديناميكا الحرارية الثانى - ويدمج كل المعلومات المتولدة ذاتيا فى الكون ويدغمها فى مجموعة من القواعد التى أجيدت صياغتها ، والسهم الثانى يولّد عندئذ وجهة نظرنا إلى الواقع من خلال هذه القواعد الأساسية.

ومن الجلىّ أنه كلما زادت كفاءتنا فى ضغط كل المعلومات المتولدة ذاتيا، كلما ازدادت سرعتنا فى بسط معرفتنا بواقعنا، لنميز ما هو ممكن عما هو غير ممكن. ولكن بدون السهم الثانى، وبدون نظرة مسبقة إلى واقعنا، ليس بمقدورنا حتى أن نبدأ فى وصف الكون، فلا يمكننا التوصل إلى أجزاء الكون التى ليس لها قاعدة مناظرة فى واقعنا، وفى الحساب الختامى، وكيفما كان ما هو خارج واقعنا، فهو مجهول لنا. ونحن حتى لا نعرف ما الذى لا نعرفه.

ولكن .. دعنا نحاول النظر إلى ما هو أبعد من ذلك، إلى المجهول. ماذا لو أن السهم الثانى، الذى ينجب نظرتنا إلى الواقع، يؤثر - بكيفية ما - فى السهم الأول الخاص بدمجنا للمعلومات التى يزودنا بها الكون ؟ ليس مما يدعو للدهشة أن هذه العلاقة مثلت المفتاح فى تطور واقعنا إلى هذا المدى الذى وصل إليه. و باستكشاف واقعنا نفهم بصورة أفضل كيف نبحث عن المعلومات التى يفرزها الكون وندغمها. ويؤثر ذلك بدوره على واقعنا، فكل ما تفهمناه، كل قطعة من المعرفة قد اكتسبناها بإدخال كل من هذين السهمين فى الآخر. وأيا كان الموضوع : التطور البيولوجى للحياة، الفيزيائيات الفلكية، الاقتصاديات أو ميكانيكا الكم، فكلها توابع وتداعيات لإعادة تقييمنا المستمرة للواقع. ومن ثمّ فمن الجلىّ أن السهم الأول يعتمد على الثانى مثلما يعتمد السهم الثانى على الأول.

ولكن ... إذا كان التأثير بينهما متبادلا، فإلى أين بالضبط يقودنا ذلك ؟ أخشى أنه ما من إجابة قاطعة. فليس لأى من السهمين كينونة ذاتية، وهو بكيفية ما -

محدد سلفا بما يكمله. وما أن يتحطم التماثل الأصلى ونحصل على المعلومات من (اللا معلومات) حتى يلعب السهمان الأول والثانى دوريهما داخل دورة ذاتية لا نهائية .. فنحن ندمج المعلومات كى نولّد قوانيننا الطبيعية ، ثم نستعمل قوانين الطبيعة تلك لنولّد المزيد من المعلومات، التى تنضغط عندئذ فى هيئة تحديث لقوانين الطبيعة، وهلم جرا.

إن ديناميكيات السهمين تحركها رغبتنا في تفهم الكون ، وإذ ننقب إلى عمق أبعد غوراً فى واقعنا، نتوقع أن نقع على فهم أفضل للكون. إننا موقنون من أن للكون – لدرجة ما – سلوكا مستقلا عنا، ويخبرنا القانون الثانى أن مقدار المعلومات فى الكون فى تزايد مطّرد . ولكن ... ماذا لو أن السهم الثانى الذى يولّد وجهة نظرنا إلى الواقع، مكننا من أن نؤثر فى أجزاء من كوننا ونخلّق معلومات جديدة ؟ وبعبارة أخرى : هل يمكننا – من خلال وجودنا – أن نؤثر فى الكون الذى نوجد نحن من ضمنه ؟ إن من شأن هذا أن يجعل المعلومات التى ولّدناها جزءًا من المعلومات الجديدة التى يتكلم عنها القانون الثانى.

إن مثل هذا الترتيب للأحداث لا يمثل مشكلة عن المفاهيم في نطاق تصوراتنا، فالمعلومات الجديدة يمكن – بالمثل – التقاطها عن طريق السهم الأول ، حيث إنه يناضل – من خلال الحدس والتفنيد (أى التخمين والدحض) كى لا يستوعب إية معلومات جديدة داخل قوانين الطبيعة الأساسية. على أية حال ، هل يمكن ألا تكون هناك أية معلومات أخرى فى الكون بخلاف تلك التى ولّدناها نحن ؟ وهل نخلق نحن واقعا خاصا بنا؟

يقودنا هذا إلى إمكانية مروعة ، فلو أن العشوائية فى الكون ، وكما تبرزه لنا ميكانيكا الكم هى حقا من تداعيات تصورنا الذاتى للواقع ، فالأمر يبدو كما لو كنا نحن من نخلق مصائرنا ، ويتراءى الأمر كما لو أننا موجودون ضمن محاكاة أو تزييف ما، وأن هناك برنامجا هو الذى ينجبنا كما ينجب كل شىء مما نراه حولنا. ولتعد بك الذاكرة إلى العرض السينمائى The matrix، حيث يحيا "كينو ريفيز" فى محاكاة زائفة

إلى أن تسنح له فرصة للخلاص والعودة ثانية إلى الواقع . فلو أن العشوائية فى الكون هى نتاج خلقنا نحن للواقع ، فما من مخرج لنا ، وذلك لأننا نحن - فى المآل الأخير - خالقو هذه المحاكاة . وفي مثل هذا السيناريو من شأن "ريفيز" أن ينتبه إلى واقعه فيجد نفسه - فحسب - جالسا على مقعده يعدّ برنامج محاكاة له شخصيا .

هذه الدائرة المفرغة يتردد صداها لدى "جون هويلر" الذى قال: إن الفيزيائيات تفضى إلى مشاركة الراصد المراقب ، ومشاركة الراصد تفضى إلى المعلومات ، والمعلومات تفضي إلى الفيزيائيات ولكن .. ماذا يا ترى إذا كان الواقع فى حد ذاته محاكاة (ومن ثمّ فما من كون لازم خارج الواقع) إنه - بحكم التعريف - أمر ليس باستطاعتنا معرفته البتة ، وما يمكننا قوله - تمشيا مع المنطق الذى يطرحه هذا الكتاب - هو أنه ما من وصف إضافى - خارج واقعنا - يمكن زيادته على الكون نستطيع فهمه ... ليس هناك سوى الخواء.

ويعنى ذلك أنه ما من مجال لقانون أقصى أو أمثل، وما منَ كائن خارق فوق الطبيعة، إذ أن من شأن كليهما أن يوجد خارج واقعنا، فى قلب ظلمات لجّية من المجهول. ففى نطاق واقعنا يوجد كل شيء من خلال شبكة اتصالات متبادلة من العلاقات، ولبنات بناء هذه الشبكة هى شذرات المغلومات. إننا نعالج هذه المعلومات ونؤلف بينها، ونرصدها من أجل بناء الواقع ، فيما حولنا. وإذ تنبثق المعلومات تلقائيا من الخواء، نأخذ ذلك فى حسباننا كى نحدّث نظرتنا إلى الواقع. إن قوانين الطبيعة هى (معلومات عن معلومات)، أما خارجها فهو محض خواء وعدم. وتلك هى بوابتنا إلى فهم الواقع.

وإننى لأختتم باقتباس من كتاب "طاو تى تشينج" (١) الذى يبدو أنه - منذ ٢٥٠٠ سنة خلت - قد سبقنى إلى هذه الحكم الغالية:

(١) Tae Te ching طاوتى تشينج : هو كتاب كتبه "لاوتسو" مؤسس الديانة الطاوية والكتاب يتضمن ٨١ قصيدة قصيرة تناقش أفكارا فلسفية. (المترجم)

إن الطاو التى يمكن الإخبار عنها ليست بالطاو الخالدة.

إن الاسم الذى يسُمى ليس بالاسم الخالد الأبدى.

إن اللا مسمّى هو بداية السموات والأرض.

إن المسمى هو أم العشرة آلاف شىء.

عندما تتحرر من رغباتك تتكشف لك المعميات.

وبالرغبة الأبدية يمكن للمرء أن تتجسد له الأمور.

وكلا الأمرين ينبعث من نفس المنبع وإن اختلف الاسم ، الذى يتراءى كالظلام ...

ظلمات فى باطن ظلمات.

إنها البوابة إلى كل المعميات.

ملاحظات

- الفصلان الأول والثانى :

- ما زال العالمان أ.ج لارسون، ل. ويتهام محافظين على إيمانهما (مجلة الطبيعة العدد ٣٨٦، ص ٤٣٥ عام ١٩٩٧). تقدم هذه المقالة بعض الإحصاءات عن الدين بين العلماء. ورغم وجوب توخي الحذر مع مثل هذه الإحصائيات فإن ردود الفعل قد تكون جدّ مختلفة اعتماداً على حرفية الصياغة. فعلى سبيل المثال فالأسئلة على شاكلة : هل تؤمن بالإله ؟ أو هل تؤمن بوجود كائن خارق فوق الطبيعى أو ببساطة : "هل أنت متدين ؟" قد تقودنا إلى إجابات تختلف تبعا لها الإحصاءات، وهى بالفعل تقود لذلك.

* أ. كالفينو "قلعة أو حصن المصائر المتعارضة (فينتج كلاسيكس Vintage Classics ١٩٩٧) حكاية رمزية عن الحياة بقلم واحد من الكتاب الإيطاليين الرواد. ولعبة أوراق كالفينو تستعمل كاستعارة رئيسية فى كتابي، تدلنا كيف نكتسب المعرفة ونفهم واقعنا بصورة أفضل. وقد طرح كتاب عديدون استعارات مختلفة عن الحياة، فى صورة المباريات التى نعقدها. على كل حال فإن لعبة الأوراق عند كالفينو هى لدىّ الأكثر ثراءً وتبصرا.

* و. بوند ستون (الكون ذو الاتصال المتكرر (ويليام مورو- ١٩٨٤). واحد من أكثر الكتب شعبية والتى تناقش وجهة النظر الرقمية للكون فى أسلوب بليغ وعام للغاية. وعلى قدر علمى، فإن عالم الحاسوب البولندى كونراد زوسى كان أول من فكر فى الكون على أنه معالج معلومات عملاق، وقد كانت بحوثه الرياضية هى أداة الحلفاء فى أنشطتهم

لفك الشفرات إبان الحرب العالمية الثانية. ولسوء الحظ أنه لم يدون على الإطلاق ما يمكننا من التوصل إلى المفتاح الذى استخدمه لذلك. وتضم قائمة رواد هذا النشاط توماسو توفولى وإدوارد فريدكين.

الفصل الثالث :

- س راثميل – ليدز (دليل بيفسنر المعمارى) – دار جامعة ييل، ٢٠٠٨) دليل ممتاز إلى الميراث المعمارى والحضارى لليدز، المملكة المتحدة، وهى موطني بين ٢٠٠٤، ٢٠٠٩

- ج... بيرس (معلومات، وإشارات، وتشويش) (دوفر ١٩٧٣). كتب بيرس على حد علمى أفضل وصف موجز يسهل الوصول إليه لنظرية المعلومات. ويتطلب ذلك بعض المعارف الأساسية عن الرياضيات – (فقط الأساسية) إني أشجعك بشدة على قراءته إذا كنت شغوفا بالتنقيب عميقا فى عناصر نظرية المعلومات التى يطرحها الكتاب.

- ك.أ. شانون، و. ويفر : النظرية الرياضية للاتصالات : دار جامعة إلينوى – ١٩٤٨). "إنجيل" نظرية المعلومات. يحتوى الكتاب كلا من بحث شانون الأصلى بالإضافة إلى تعليق عليه بقلم ويفر.

أ.ك. تشيرى : تاريخ نظرية المعلومات : وقائع اجتماعات معهد الهندسة الكهربية – العدد ٩٨ – ص ٣٨٣ – (١٩٥). كان عرضى حقا حلقة من حلقات شرح نظرية المعلومات الراسخة، ابتداءً من شانون. على كل حال فهذا العمل يشرح بتفصيل مستفيض تاريخ الأفكار الأساسية التى قادت إلى هذه النظرية – وطيدة الأركان. عرض مختصر، مع تذييل مختلف نوعا ما بقلم ج. ر بيرس – الأيام المبكرة لنظرية المعلومات IEEE مجادلات حول نظرية المعلومات – العدد ١٩ – ص ٢ – ١٩٧٣

الفصل الرابع :

ج. فون نويمان : نظرية التوالد الذاتى للآلات ذاتية الحركة - حررها وجمعها آرثر و. بيركس (دار مؤسسة طباعة جامعة إلينوى - ١٩٦٣). بعد أن صنف كتيبا رائدا فى الاقتصاد، والفيزياء الكمومية والرياضيات، حوّل فون نويمان اهتماماته حينئذ إلى القضايا البيولوجية المثيرة للإلهام. يضم هذا الكتاب التفسير الأصلى لأفكار فون نويمان عن الاستنساخ .

وكأغلب أعمال نويمان يروق الكتاب للقراء الفطنين نوي العقلية الرياضية.

- أ. شرودينجر : ما الحياة؟ (مؤسسة طباعة جامعة كامبردج - ١٩٤٦) كتاب رشيق الأسلوب يحببنا فى الفيزيائيات، مركزا على التضمينات والتداعيات البيولوجية. وما زالت التوصية بقراءته قائمة حتى بعد أن تم تجاوز كثير من الأفكار فيه منذ صدر.

- ج. مونو : الفرصة والضرورة (فينتاج - ١٩٧١). ينظر هذا الكتاب إلى الحياة باعتبارها مكونة من نتاج (توالدات) شبح أو شيطان ماكسويل. يناقش القضية بحيوية وأسلوب أخاذ. كاتبه حائز على جائزة نوبل فى البيولوجيا.

الفصل الخامس:

ب. راسل : تعبد الرجل الحر (روتلدج - ١٩٧٦) : فى تقاليد اللاأدريين لتوماس هنرى هاكسلي، يشرح راسل ما ينبغي للرجل الحر أن يقبل وما ينبغي ألا يقبل فى ضوء المعارف العلمية. يحتوي على مقتبسات عن راسل فيما يتعلق بإيمان العلماء والفلاسفة بالقانون الثانى للديناميكا الحرارية.

– ب. أتكنز : الخلق : (مؤسسة طباعة جامعة أكسفورد – ١٩٧٨). يناقش هذا الكتاب بصورة شائقة كيف أن التوجه إلى العشوائية الذى ينص عليه القانون الثانى هو فى واقع الأمر القوة المحركة الرئيسة وراء التطور. وبعيداً عن التناقض معها، فالشواش هو ما ينجب الحياة وهو ما يمكن النظر إليه كواحة وسط (صحراء) الشواش. والكتاب هو الآخر. محاولة مشهودة لطرح فكرة خلق (مادى) فيزيائى للكون من اللاشيء. ولكن، وكما أناقش فى كتابي، تفتقر هذه الرؤية إلى المفهوم المحورى للمعلومات الذى ينفذ خلال كل الظواهر. إنه الكتاب الذى قال عنه ريتشارد " داولنز إنه أفضل كتاب علم كتب على وجه الإطلاق والأكثر شعبية.

* ت. نوريترانديرز : وهم المستعمل : التطامن بحيز الوعى (مطبعة بنجوين – علوم. ١٩٩٨) يحتوي هذا الكتاب وصفا مفصلا لمتناقضة (شيطان أو شبح ماكسويل) وانعكاسا بها على الحسابات.

وعدا ذلك فهو حتى الآن أحد أفضل المحاولات لفهم الوعى وفقا لنظرية المعلومات. وطبقا لنوريتراندرز فإن أذهاننا تصنع تصورات وتخيلات للواقع كصور فى رءوسنا. وأحد جوانب هذا الواقع هو نحن أنفسنا وصورة أنفسنا الآخذة فى التطور، أى بإيجاز... عقلنا. وعنوان "وهم المستعمِل" يشير إلى حقيقة أن الحاسب الآلى هو الآخر يخلق من نفسه وهما لنا كى يصبح مقرّبا لمستعمله، وعلى ذلك فإننا نفكر فى الحواسيب على أنها مجرد ملفات ومجلدات وبرامج وروتين.. إلخ.. على أية حال فكل ما يعمله الحاسب هو ببساطة ضغط الأصفار وأرقام الآحاد ودمجها. ولا يوجد فى أى مكان داخل الحاسب ملفات أو مجلدات أو برامج. إنه مجرد مرحلة بينية لنا، ووعينا بالمثل يقدم لنا مرحلة بينية من أنفسنا. هذا هو كل ما يعنينا، هذا ما يدعيه الكتاب.

الفصل السادس:

- ر.ج كيلى : تأويل جديد لوتيرة المعلومات - الجريدة الفنية - المنظومات الناقوسية - العدد ٣٥ ص ٩١٦ (١٩٥٦) : هذا أول تطبيق لنظرية شانون فى مجال المقامرة. وأحد ملامحها المذهلة الصادمة، أنها لا تحتاج إلى تصحيح الخطأ للوصول إلى الطاقة المثلى (وهى فى هذه الحالة أقصى نفع (كسب) مالى .

- أ.أ ثورب : رياضيات المقامرة : ملاحظات مبنية على خبرة ثورب وتجاربه فى نوادي المراهنة بلاس فيجاس. مكتوب فى لغة بالغة السهولة يسهل على جمهور المستمعين العريض التعامل معها.

- ك. سيجموند : ألعاب الحياة (مطبعة جامعة أكسفورد، ١٩٩٢) : إذا كنت مفتونا بمماثلة المراهنة فى الكازينو، برهان الكيانات الحيوية ضد البيئة للبقاء على قيد الحياة، فأوصيك بقراءة هذا الكتاب الذى يرسم لك دور نظرية الألعاب فى علم الأحياء فى سياق أكثر عمومية.

الفصل السابع:

- ت. هارفورد : منطق الحياة (ليتل براون - ٢٠٠٨) يضم فصلا يناقش أفكار شيلينج الأساسية. والكتاب برمته محرر بطريقة جميلة ويتناول قضايا عامة متنوعة من منظور عالم اقتصاد.

* م. بوكانان / نيكسوس Nexus : عوالم صغيرة وعلم الشبكات الذى زلزل الأرض (و. و. نورتون- ٢٠٠٢) بهذا الكتاب شرح حديث وشائق للطرق الرياضية المستحدثة فى علم الاجتماع. وبوكانان صحافى، وهذه المقدمة سهلة الهضم. وإذا رغبت فى شيء أكثر تفصيلا، فبوسعي أن أوصيك بكتاب أ. ل. باراباسي : "علم الشبكات الجديد" (بلوم - ٢٠٠٣) وباراباسي باحث علمى ضرب بسهم وافر فى دراسة الخواص الفيزيائية للشبكات العمومية.

* ج. أ. ستيجليتس : العولمة ومحاذيرها (و. و نورتون - ٢٠٠٣). ها هنا كتاب يصف التداعيات الاجتماعية والاقتصادية للعولمة. وسيتجيلتس الحائز على جائزة نوبل فى الاقتصاد حريص على إبراز الإيجابيات والسلبيات، بالإضافة إلى إسداء النصيحة عن كيفية تحويل اتجاهات العولمة صوب منفعة أعظم للكل بدلا من مجرد توجيهها نحو زيادة الفجوة بين من يملكون ومن لا يملكون. وهو - رغم ذلك - لا يتطرق بحال إلى نظرية المعلومات.

ت. ل. فريد مان (العالم المسطح) (دار فارار، شتراوس، جيروكس - ٢٠٠٥) استعراض شخصى من صحافى لما يعنيه وجودنا فى عالم وثيق الاتصال ببعضه. والتسطح فى العنوان يشير بالضبط إلى حقيقة أننا جميعا مربوطون أحدنا بالآخر وأن كل التغيرات سرعان ما تنتشر بوتيرة عالية. رؤية شخصية عن الاتصالات الوثيقة عبر العالم، وأيضا دون أى تطرق إلى استعمال نظرية المعلومات .

الفصل الثامن :

* و. هايزنبرج (الفيزيائيات والفلسفة) (جورج ألن و أونوين - ١٩٥٩). عرض ممتاز للمعتقدات الأساسية فى ميكانيكا الكم وكيف بدلت الفلسفة الكلاسيكية برمتها. كتبه واحد من روادها فهو عمل فريد حقا.

* ب. كليج : التأثير الإلهى (مطبعة سان مارتين - ٢٠٠٦) يضم الكتاب مقدمة سهلة الفهم للغاية عن أحدث الأعمال عن التشابكات entanglement من الناحيتين النظرية والعملية .

يوصى بقراءته بشدة لكل المهتمين باكتساب فهم حديث لميكانيكا الكم.

- س. سينج : كتاب الشفرة (الطبعة الرابعة، ٢٠٠٠) كتاب شائع الانتشار يشرح مهارة فك الشفرات عبر التاريخ ويقدم منها نماذج كثيرة مثيرة. ويستعرض المؤلف بالمثل أساسيات فك الشفرات الكمومية .

الفصل التاسع :

* د. دويتش : خيوط الواقع (آلين لين – دار البنجوين – ١٩٩٧) استعراض خلاق ومبتكر للغاية لفهمنا الحالى للواقع عبر أربعة أعمدة معرفية : الفيزياء الكمومية، وبيولوجيا الجين الأنانى، حدس وتفنيد بوبر، ونظرية تورينج عن الحسابات الشاملة.

* هـ. افيريت : تفسير ميكانيكا الكم بالحالة النسبية (دار – جامعة برينسون – ١٩٧٣). أول تطبيق لنظرية شانون للمعلومات على ميكانيكا الكم وبالنسبة لإيفرت، تخزن نتائج القياسات فى الواقع فى المعادلات التى تربط بين الراصد والمرصود. وتقاس معادلات العلاقات المتبادلة باستعمال صيغة " شانون". يقدم الحالة الإجمالية للكون كتراكب ضخم من الحالات المتشابكة بين المنظومات الفرعية. وما يهمنا هو حالة نسبة شيء إلى الآخر، ومن هنا جاء عنوان بحث إفيريت. هذه الرؤية العلائقية للكون تشكل أساس وجهة النظر التى أقدمها فى آخر باب من الكتاب.

* ج. ر. فليمنج، ج. د شولس : الكيمياء الفيزيائية. ميكانيكا الكم للنباتات (مجلة الطبيعة - nature العدد ٤٣١– ص ٢٥٦ – ٢٠٠٤) صفحة واحدة طريفة ومشوقة عن الأهمية المرتقبة الكامنة لتأثيرات الكموم فى البيولوجيا وهى الآن مجال لأبحاث فى تنام مستمر.

الفصل العاشر:

ب. واطسون : أفكار (دار فونيكس ٢٠٠٥) : كتاب حديث يناقش أن هناك ثلاث أفكار مفتاحية لتقدم الحضارة الغربية، تمثل الطريقة العلمية أو طريقة الحدس والتفنيد أحدها.

* م. شودر : التشظي والشواش وقوانين القوة : دقائق من الجنة الأبدية (و. هـ فريمان – ١٩٩٢) يبرع شودر فى نقل الأفكار البسيطة الكامنة خلف الجزافية بطريقة مشوقة حتى أنها تخلب حتى الخبير. يوصى جدا بقراءته.

* ك. بوبر : التخمينات و الاستبعادات (روتليدج - ٢٠٠٢) : بوبر هو أكثر الفلاسفة قربا من العلماء، إذ يوضح الطريقة التى يكتسب بها العلماء المعرفة، ويناقح عنها.

* ج. تشايتين : مجموعة من المقالات (وورلد ساينتيفيك - ٢٠٠٧). مقالات تدور حول موضوع النظر إلى العشوائية من منظور نظرية المعلومات وثيقة الصلة بعمل ر. سولومونوف، نظرية تقليدية فى الاستدلال الاستقرائى (المعلومات والسيطرة - عدد ٧ ص ١ - ١٩٦٤).

* ف. فيدرال : الاحتفال بمرور ٥٠ عاما على مجلة العالم الجديد " (١٨ نوفمبر ٢٠٠٦) دعيت إلى هذا الحفل بفضل مقالي عن الحتمية مقابل العشوائية من المنظور الفيزيائى وأجزاء من هذا الباب مبنية على ذلك المقال.

الفصل الحادى عشر:

* أرشميدس "إحصاء حبات الرمال" (يمكن العثور على ترجمته فى شبكة المعلومات). مقال مصحوب بحسابات تنبؤية للغاية قام بها الرياضى الإغريقى العتيد (عادة ما يُقرن أرشميدس بجاوس ونيوتن كأعظم ثلاث عبقريات رياضية على مر التاريخ كله). وهويعرض على ملك سيراكيوز وقتها العلة وراء تقديراته لحجم الكون، ويصوغها فى هيئة عدد حبات الرمل (ربما للاعتقاد آنذاك بأنها أضأل الأشياء) التى يمكن حشدها داخل الكون. ومما يثير الشغف أن ترى كيف يقيمّ الأرقام الكبيرة. ولنتذكر أن الإغريق لم يكن لديهم مفهوم الصفر، ومن ثم لم يكن بمقدوره أن يكتب ١٠٠٠٠٠٠ ليعبر عن المليون.

* ل. سمولين : ثلاثة سبل إلى الجاذبية الكمومية (بيزك بوكس - ٢٠٠٢) استعراض جيد وشائق عن (حدود) بيكينشتاين والعلاقة بين الإنتروبيا والمساحة.

* ج. باربور : نهاية الزمن (مطبعة جامعة أكسفورد - ٢٠٠١) يناقش الكتاب هذه القضية :

مـادام كل المعنى يكمن فى الروابط بين الأحـداث، فـالزمن نفسـه غيـر مـوجـود، بمعنى أنه لا يوجد شىء علاوة على العلاقات السببية. وبصياغتها بما يتفق ويتمشى مع روح هذا الكتاب، فالزمن هو مجرد مقدار العلاقات السببية بين الأشياء فى الكون. والكتاب مبنى على بحث شهير لـ د. ن. باج، و ك. ووترز (فيزيكال ريفيو D، العدد ٢٧، ص ٢٨٨٥ - ١٩٨٣).

الفصل الثانى عشر:

- د. تورنر : الإله فى الظلمات (مطبعة جامعة كامبردج - ١٩٩٥) يشرح هذا الكتاب أسس التصوف المسيحى فى العصور الوسطى وعلى عكس ما ندركه اليوم عما يعنيه التصوف، فإنه فى مسيحية العصور الوسطى كان مستنيرا للغاية ومضاداً لما يطلق عليه ضرورة الإشراق التصوفى للوصول للذات الإلهية. كان المفتاح تطبيقا مترابطا لطريقة " النفى " وهى طريقة اخترعوها ذات شبه بالطريقة العلمية.

- ك. ج جونج : تزامن الأحداث المترابطة : قاعدة ربط لا سببية (روتليدج وكيجان بول - ١٩٧٢) تحاول هذه المقالة أن تناقش أن الأحداث التى يعتقد بجزافيتها. وتحدث آنيا مرتبطة عن طريق مبدأ إضافى يذهب إلى ما وراء القاعدة العلمية : السببية. كان بعض من مرضى جونج علماء فيزيائيين فى مجال الكموميات (كان أبرزهم فولفجانج باولي، وهو أحد مكتشفي الفيزياء الكمومية، ومن ثم فقد كان جونج على معرفة وثيقة بحقيقة أن الصدفة تلعب دورا محوريا فى الفيزياء الحديثة. ومن الطريف أن ترى كيف يتلمس طريقه بين الصدفة العمياء، والحتمية ذات القوة القاهرة.

- أ. اولفبيك، أ. بوهر : التصادفية الأصيلة. من أين جاءت هذه النقرة. أسس الفيزيائيات - العدد ١١ - ص ٧٥٧ - ٢٠٠١) يجادل المؤلفان هنا أن العشوائية لابد من الإقرار بها كأمر أساسى فى فيزيائيات الكم، وهو ما يعني أن الوصلة بين العلة

والمعلول منبتة بالضرورة. وكنتيجة طبيعية فالنقرات فى أجهزة الاستشعار عرضية تصادفية ولا يسعنا إرجاعها إلى وجود متوار للجسيمات. تناقش وجهة النظر هذه باستفاضة فى الباب الأخير من الكتاب.

- ف. فيدرال : هل الواقع هراء كمومى ؟ (ستريت تايمز - ٢٣ فبراير ٢٠٠٨)

هنا أول مكان وصفت فيه لعبة الورق الكمومية. واللعبة نفسها قدمتها لى صديقتي جانيت أندريس، وهى عالمة فيزياء بكلية الجامعة، لندن، وهناك تمثيل مشابه آخر لفيزيائيات الكموم بألعاب الورق بأن تربطها بلعبة " العشرين سؤالا " التى كان هويلر أول من بدأها.

والفكرة هنا هو أن يختار شخص شيئا ما، ويخمن آخر ما هو الشيء بسؤاله للأول ٢٠ سؤالا بحيث تنحصر الإجابة فى "نعم" أو "لا" فيسأله مثلا هل هذا الشيء صغير ؟ "أو شيء مادى ؟" وهكذا. وتوالي الأسئلة يضيق السائل المخمن من نطاق الاحتمالات، بما يخوله - بعد عشرين سؤالا - أن يدلى بالإجابة الصحيحة.

والمماثلة فى مجال الكموم تجىء بتغيير اللعبة بحيث لا يتخيل الشخص الأول - بداية - أى شيء، وبعد ذلك يطور صورة ما عن طريق اتساقه مع إجاباته على العشرين سؤالا التى سئلت. وبطبيعة الحال، يصعب على المخمِّن ذلك، ولكن لو اختيرت الأسئلة بمهارة فيمكن أن تداوم على أن تقود إلى خيارات قليلة جدا فى النهاية.

المؤلف فى سطور:

فلاتكو فيدرال

ولد فلاتكو فيدرال في صربيا عام ١٩٧١ (حصل على الجنسية البريطانية) ونال دراسته الجامعية في الفيزياء النظرية بالكلية الملكية بلندن، وهو عالم فيزيائى وأستاذ الفيزيائيات بجامعة أكسفورد منذ يونيو ٢٠٠٩ ومركز تقنيات الكموم CQT بجامعة سنغافورة الوطنية، وزميل بكلية وولفسون. وهو معروف بأبحاثه فى نظرية التشابكات ونظرية المعلومات في الكموم. وبحلول عام ٢٠١٠ كان قد نشر ما يربو على ١٥٠ ورقة بحثية فى ميكانيكا الكم ومعلومات الكموم، ومنح عام ٢٠٠٧ جائزة الجمعية الملكية للأبحاث بوولفسون. وقد حصل على لقب الأستاذية فى ليدز، وقام بزيارات بصفته الأستاذية لفيينا وسنغافورة ومعهد بيريمتار بكندا. وفى عام ٢٠١٠ كان هناك أكثر من ٧٥٠ تنويها بأوراق فلاتكو فيدرال البحثية.

وهو مؤلف للعديد من الكتب بما فيها "الواقع الذى نحياه .. وكيف نفكك شفرته"

– كتب فى الجرائد العلمية الشهيرة إلى جانب الصحف اليومية، بالإضافة إلى الاشتراك فى برامج إذاعية ومقابلات تليفزيونية عديدة.

المترجم فى سطور :

دكتور مهندس/ عاطف يوسف محمود

- حاصل على درجة البكالوريوس فى الهندسة الميكانيكية - جامعة القاهرة ١٩٦٦ .

- حاصل على درجتى الماجستير (١٩٧٢) ودكتوراه الفلسفة (١٩٧٦) فى صناعة الحديد والصلب والصناعات الهندسية.

- له بحوث عديدة باللغات العربية والإنجليزية والروسية نشرت فى مجلات عربية وأجنبية.

- حائز على لقب مهندس استشارى من نقابة المهندسين المصرية فى مجال دراسات الجدوى الفنية والاقتصادية وتقييم المشروعات الصناعية.

- يقوم بالترجمة ونشر المقالات بالمجلات العلمية.

- قام بترجمة كتب "السفر عبر الزمن فى كون أينشتاين،" و "المرجع فى روايات الخيال العلمى" - والذى حصل على شهادة تقدير من المركز القومى للترجمة - ، و"منظومتنا الشمسية بين الصدفة والمصير"، و "منظور جديد لكونيات الفيزياء الفلكية" الصادرة عن المركز ، وكتاب"مصادر الطاقة غير التقليدية" الذى حصل على شهادة تقدير من المركز القومى للترجمة.

التصحيح اللغوى: فوزى عبد المنعم
الإشـراف الفنى: حسـن كـامل